

П-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

8

НОВОСИБИРСК

1962

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА

Е. П. Орлова. У алеутов на Командорских островах 3

ТЕХНИКА

П. М. Алабушев, И. Я. Шпигельбурд, А. Н. Борисова. О движении не вполне симметричного гиromаятника, установленного на неподвижном основании, при отсутствии сил трения в опоре 11

А. И. Лимасов, А. Т. Чепиков. Вольтсекундные характеристики полярных и неполярных жидкостей 22

О. Л. Бармосов. Прицеливание при стрельбе из пушек 27

Н. Д. Бирюков, А. И. Вулфович, И. А. Адамович, В. П. Матвеев. Исследования по физике жидкостей 40

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 53

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 65

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 72

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 76

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 84

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 94

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 103

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 110

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 113

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 115

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 117

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 120

И. Н. Шаповалов, Т. П. Некрасов, И. Н. Елагин, С. З. Фрадкин. Исследования по физике жидкостей 122

1962 П-32544
 № 8 Известия Сибирского Отделения АН СССР
 70 к.
 14/IV 64 Козьмин
 22/IV 64 Козьмин

П-32544

ИЗВЕСТИЯ
 СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
 АКАДЕМИИ НАУК
 СССР

8

Е. П. ОРЛОВА

У АЛЕУТОВ НА КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВАХ

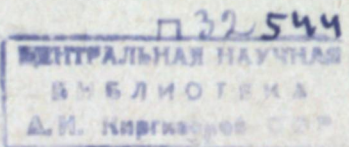
На самом восточном краю советской земли расположены Командорские острова. На этих маленьких островах кипит жизнь. Их населяют алеуты — представители народов Севера, коренные жители этих мест, морские зверобои. Есть здесь и русское население, и украинцы, и др. Что же представляют собой Командорские острова, их природа и население? Этот вопрос давно интересовал меня как этнограф-североведа.

Ведь до сих пор на этих островах не работал специально ни один этнограф. Даже Иннокентий Вениаминов, первый исследователь алеутской этнографии (1824—1834 гг.), дает описание западной группы алеутов, так называемой атхинской, со слов священника Атхинской церкви Иакова. Об острове Беринга, самом западном из всей цепи Алеутских островов, И. Вениаминов только упоминает. В 1961 г. по поручению Сектора истории и филологии Института экономики СО АН СССР нам довелось побывать на острове Беринга.

Как известно, Командорские острова — самая западная группа Алеутских островов. Открыта она была в 1741 г. русской (Второй великой северной) экспедицией во главе с Витусом Берингом, погибшим на острове, который впоследствии был назван его именем. В эту группу входят четыре острова. Самый большой остров — Беринга — имеет около 120 км длины и 6—30 км ширины, на подступах к нему с западной стороны расположены два небольших острова — Топорков и Арий Камень, названные так из-за обилия на них морских попугаев — топорков и ар, или кайр. К востоку от Беринга расположен Медный остров, меньших размеров и гораздо более трудно доступный: с подводными рифами, камнями, скалами, отвесно падающими в океан.

Командорские острова имеют сейсмическое происхождение; в обнажениях на острове Медном геологи могут прочитать всю их историю. Глубины до 2000 м отделяют Командоры от Камчатки, глубины до 4000 м отделяют остров Медный от острова Атту — ближайшего соседа с востока, со стороны Алеутских островов, принадлежащих США. Командоры находятся на расстоянии около 500 км (280 морских миль) от Петропавловска-Камчатского, около 200 км (120 морских миль) от Усть-Камчатска и около 300 км (180 морских миль) от американского острова Атту. Расположены они между 54° 25' и 55° 20' с. ш. и между 165° 45' и 168° 07' в. д., недалеко от 180 меридиана, при переходе через который сразу приходится или прибавлять, или убавлять целые сутки в своей жизни.

Старожилы Командор алеуты говорят, что раньше у них очень часто бывали землетрясения, во время которых вода захлестывала все низкие места и поднималась очень высоко; землетрясения бывали каждый раз, когда на Камчатке «горела сопка» (т. е. было извержение



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), д-р с.-х. наук В. Б. Енкен, д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, проф. В. А. Кротов, д-р биол. наук Г. В. Крылов, член-корр. А. В. Николаев, член-корр. И. И. Новиков, член-корр. Г. А. Пруденский, канд. биол. наук Р. И. Салганик, акад. С. Л. Соболев (главный редактор), д-р биол. наук К. А. Соболевская, д-р мед. наук Б. Б. Фукс.

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 401.

Ключевской сопки), люди спасались, убегая на вершины гор. Теперь землетрясения бывают редко и не такие сильные.

Из-за особенностей географического положения островов среди вод Великого океана своеобразен и климат Командорских островов. Он отличается особой влажностью, а поэтому и умеренностью: летом температура воздуха редко поднимается выше $+15^{\circ}\text{C}$, держась обычно $+9, +10^{\circ}$, а зимой держится на уровне $-5, -6^{\circ}$ и почти никогда не опускается ниже -9° . Ветер переносит в разных направлениях густой серый туман, часто сеет бус — мелкий дождь. Море наиболее спокойное в летние месяцы — июнь, июль и в начале августа, в сентябре начинаются штормы, которые очень затрудняют подступы к островам; зимой на Командоры наваливаются снежные бураны, которые бушуют до весны. На вершинах невысоких гор, точнее холмов, и в падах не каждый год успевает растаять снег.

Весной склоны гор и долины, освобождаясь от снега, покрываются густой высокой травой, иногда выше роста человека; это преимущественно зонтичные, лилейные и кашкара — рододендрон с крупными душистыми цветами кремового цвета; позднее цветут герани лиловые, голубые, белые, примулы желтые, белые, ирисы лиловые и синие, фиалки крупные лиловые и ночные белые. Соцветия примул, гераний и рододендронов с очень крупными цветами, образующими целые букеты, вперемежку с пунцовыми гроздьями рододендронов, купами лиловых и синих ирисов, ярко-желтыми, белыми и бледно-лиловыми ромашками на фоне сочной зелени создают непередаваемо красивое декоративное панно. Ягодники — жимолость (*Lonicera edulis*), шикша (*Empetrum nigrum*), голубика, брусника, а на Медном и черника — образуют густые заросли, поднимающиеся над землей всего на 20—25 см. Ива, березка и рябина стелются по земле; шутя местные жители говорят: «У нас деревья в длину растут; рябина, ива и березка у нас бывают по 5 м длины». У рябины очень вкусные ягоды, которые идут на варенье. В сентябре бывает очень много грибов: белых, подосиновиков, груздей и др. Словом, травяной растительный покров острова Беринга раскошен, это прекрасная кормовая база для развития животноводства на Командорах. Пользуясь коротким летом, вся цветковая растительность торопится жить — все пышно цветет и плодоносит, так же как на Камчатке и Сахалине.

На острове Медном горы, отвесными голыми скалами падающие в море, делают природу более суровой и оставляют меньше места для лугов и пастбищ. На пологих склонах и в падах травяной, цветковый покров также очень богат и разнообразен.

Командоры — это царство птиц, особенно остров Медный. Когда к нему подходишь на корабле, утки всевозможных пород: урилы, гагары, чайки, ары-кайры, топорки (морские попугаи) так и летают над головой.

При открытии Командорских островов Берингом в 1741 г. (они были необитаемы) на них было обнаружено громадное количество песцов, а в морях и на побережье очень много ценного пушного зверя — котика и бобра, которые периодически приходили к островам и устраивали лежбища. Много было сивучей — морских львов, нерп; множество морских коров — ламантинов, которые были истреблены за 27 лет безрассудного промысла; последние коровы были убиты в 1768 г. Несметные стаи всяких водоплавающих и перелетных птиц гнездились и гнездились на Командорах, образуя птичьи базары.

С восьмидесятых годов XVIII столетия история Командорских островов, как и Алеутских, связана с деятельностью Российско-Амери-

канской компании, объединившей и возглавившей все морские промыслы на островах Берингова моря; в 1805 г. она завезла на Командоры первых 11 промышленников и забыла их там на целых семь лет. На Беринге остался один человек — Яков Мыньков, который, как Робинзон Крузо, прожил на этом суровом острове семь лет, а на Медном все эти годы жило 10 человек промышленников во главе с Шипицыным, с которым жили жена и трое детей. Оторванные от внешнего мира эти первые поселенцы вынуждены были одеваться в бобровые и котиковые шкуры, питались мясом морских животных. Яков Мыньков ловил рыбу крючком, сделанным из гвоздя, огонь добывал, высекая бритвой искры из кремня. Невозможно словами передать всю драматичность положения этих людей. Лишь в 1812 г. одичавший промышленник с Беринга и один больной с Медного были сняты и вывезены на материк. Алеутов на Командоры завезли только в 1826 г.

Об этом периоде, самом отдаленном в истории заселения Командорских островов, сохранились лишь предания. Анна Федоровна Панькова (1909 г. рожд.), алеутка с острова Беринга, передала мне в августе 1961 г. рассказ своей бабушки о том, что когда алеутов привезли на Беринг, то на «Рифу» стояло две казармы, в которых жили только одни русские. На Беринге в это время было много котиковых лежбищ. По берегам росла высокая трава; обитатели казарм, сидя в траве, играли в карты, и тому, кто выигрывал, разрешалось убить для себя котика.

Кроме алеутов с Крысых и Лисыих островов, на остров Беринга привезли конягов — эскимосское племя с острова Кадьяк, расположенного к востоку от Аляски, и людей индейского племени негогис из-под Ситхи. На остров Медный завезли алеутов с острова Атту.

Первым алеутом, переселенным на остров Беринга, был Аликучагу (не отсюда ли происходит слово алеуты, которое в произношении самих алеутов звучит как алихутас?), окрещенный потом Захаром.

По моим наблюдениям, антропологический тип негогис (индейцев) прекрасно сохранился в семействах Ладыгиных и Березиных, тип эскимосов конягов — в семье Яковлевых; Аксеновы, Хабаровы — типичные представители алеутов, аттовских (западных). Словом, антропологический тип алеутов, эскимосов и индейцев превосходно сохраняется, несмотря на давнюю и все усиливающуюся метисацию бывших аборигенов Алеутских островов с русскими, украинцами, зырянами, цыганами, камчадалами и другими народностями, которых завозили на Командоры как промышленников. Русские черты явно видны в семьях Добрыниных, Паньковых, Григорьевых и многих других, но выросшие в местных бытовых условиях алеуты сохранили свой язык и национальное самосознание.

В 1871 г. (спустя 4 года после продажи Аляски США) Командорские острова были переданы в аренду американскому торговому дому Гутчинсон, Кооль и К° на 20 лет. С 1891 по 1917 г. острова сдавались в аренду различным американским торгово-промышленным компаниям. На время русско-японской войны Командоры были совсем отрезаны от России.

Интересны воспоминания об этом периоде жизни Анны Федоровны Паньковой: «Бабушка моя говорила по-американски, потому что, когда она была молода, американцы Линквист и Стенигер часто приезжали на Командоры и заходили к бабушке. Последний раз они приезжали в 1921—1923 годах. Они чувствовали себя хозяевами на Командорах, смеялись и шутили над женщинами. Женщины группами ходили за сараной и ягодами, а американцы гонялись за ними, ловили их и бросали в них разные предметы — потешались. В одну старуху чайником попали,

ушибли сильно, но зато ей достался чайник... Мы долго смеялись потом. Теперь-то мы понимаем, что американцы хищничали, увозили ценную пушнину из чужих владений, а раньше этого не понимали».

В этот период жизнь алеутов на Командорах была настолько тяжелой и материально не обеспечена, что с 1890 по 1909 г. общая убыль населения достигла 19%. Это грозило полным вымиранием народности.

В годы гражданской войны и интервенции Командорские острова переходили из рук в руки. Только в 1925 г., после изгнания интервентов с Дальнего Востока, на Командорах были организованы два сельских совета — на Беринге и Медном. В 1932 г. был образован Алеутский национальный район в составе Камчатской области, и жизнь алеутов решительно изменилась в лучшую сторону. Они пошли в ногу со всеми народами Советского Союза.

Интересны живые воспоминания пожилых алеутов о старом быте. А. Ф. Панькова помнит, что раньше алеуты питались мясом и жиром морских зверей — котика, нерпы, сивуча; рыбой, юколой; сараной и другими съедобными корнями растений и ягодами. Сарану выкапывали из земли осенью кривым ножом, очищали от земли, сушили на циновках и подстилках на солнышке, после чего она становилась розовой. Перед тем, как варить, тщательно мыли, затем варили и ели как картошку. Весной на холмах собирали корень хагелис (дудки?). Корни эти варили в духовке и ели с кислым жиром нерпы или сивуча. Осенью собирали ягоды. Весной на островах собирали крупные яйца ар, гагар, топорков и запасали на зиму по 2—4 бочки на хозяйство; били уток, гусей и всякую другую птицу; ели «икру» морских ежей, моллюсков, морскую капусту и водоросли. Носили одежду, сшитую из сивучьих кишек. Анна Степановна Кичина умеет шить такую одежду.

Евлампия Игнатъевна Бадаева и ее брат Апполинарий Игнатъевич сообщили, что раньше алеуты шили камлейки («дождевики» в виде рубашки без разреза спереди и с капюшоном) двух сортов: из кишек сивуча и из кожи горла морского котика. Сивучей убивали в феврале — марте; из одной кишки большого сивуча выходило две камлейки. Особой прочностью и водонепроницаемостью отличалась кожа горла котиков; из 50 горл котиков можно было сшить камлейку, а из 38 горл шили мужские штаны, рукавицы и капюшон. Если алеут, морской охотник, надевал вниз сивучью камлейку, а поверх нее камлейку, сшитую из кожи котиковых горл, то он становился неуязвимым для воды. В такой одежде можно было садиться в байдарку, обтянутую сивучьими кожами, и плыть хоть на Медный: камлейки совсем не промокали.

Алеуты — народность островная, живущая в тесном соприкосновении с морем. Основным занятием алеутов издавна был морской зверобойный промысел, который снабжал их пищей и одеждой. В постоянной напряженной борьбе за существование в суровых природных условиях алеуты в течение столетий выработали в себе стойкость, мужество, отвагу и ловкость и противостояли водной стихии в любой шторм и ветер. Алеуты всегда славилась как опытные, бесстрашные мореходы со свободолобивым характером, такими они остаются и до сих пор. Выдержка, выносливость и терпение — основные черты их характера.

Живя на Алеутских островах в отрыве от влияния других культур, алеуты изобрели прекрасные плавучие средства: большую 12-весельную байдару «улухта» с двойной кожаной обтяжкой и бесподобную, самую совершенную по мореходным качествам байдару «экьях» с одним люком, на которой в одиночку охотились на морского зверя. Для обучения мальчиков делали байдарки с двумя люками; трехлючная байдарка — последнее изобретение в угоду потребностям русских промышленников.

Каркасом для байдарок служили поперечные тонкие изогнутые рейки из легкого дерева (шпангоуты) и длинные продольные рейки; киль — трехсоставной, подвижный. Каркас со всех сторон обтягивался кожей сивуча. Люки обтягивались при помощи китового уса специальным поясом — обтяжкой «то́го» шириной 40—50 см, сшитой из сивучьих кишек.

В прошлом веке и в начале XX в. алеуты, снаряжаясь в море на охоту, поверх одежды надевали камлейку с капюшоном, сшитую из сивучьих кишек; в очень ненастную погоду поверх сивучьей камлейки надевали еще камлейку, сшитую из котиковых горл, и такие же штаны; на ноги обували торбоза, скомбинированные из кожи котика (голенища), нерпичьей кожи (переда) и кожи сивуча (подошвы). На голову надевали деревянную шляпу с вытянутой в виде клюва передней частью для защиты лица и глаз от ветра и брызг. Садясь в байдарку в таком костюме, охотник под мышками обтягивал себя обтяжкой «то́го» и становился вполне «водоупорным». Он смело выходил в море при дожде и ветре и даже в шторм. В случае, если байдарка «экьях» с охотником опрокидывалась, он ставил ее на место взмахом своего двухлопастного весла, сделанного из очень легкого дерева, и ни одна капля воды не просачивалась ни за рукава комлейки, ни за капюшон.

Алеутские байдарки — музейная редкость, они вытеснены всякого рода моторами, но мне думается, что нужно вернуть к жизни байдарку «экьях» и широко использовать ее в спорте не только на Командорах. К. С. Аксенов с помощью умельцев С. Д. Березина, Ф. А. Зайцева и А. И. Григорьева могли бы соорудить и «экьях» и «улухта» хотя бы для музеев страны и спортивных соревнований.

Из птичьих шкур алеуты шили теплые и легкие шубы и шапки. Кожей, снятой с орла, с пухом, но с ошипанными перьями, обтягивали детские люльки, пухом внутрь; получалась очень теплая колыбель своеобразной формы. Из желудков сивучей — «санхух» — алеуты изготавливали (и в настоящее время еще изготавливают) сосуды для хранения юколы (вяленой рыбы). В «санхух» небольшого сивуча входит 50—60 штук обрезной юколы, а в «санхух» от большого сивуча — до 500—600 штук; но укладывать юколу нужно умеючи. Раньше из пузырей и желудков морских зверей изготавливали посуду для воды, заменяющую ведра, для жира и других хозяйственных надобностей. Теперь кишки, пузыри, желудки и горла морских зверей идут в отходы и выбрасываются в море, а раньше это было необходимейшим сырьем для изготовления одежды, обуви, домашней утвари, часто по своим качествам не уступавшей предметам фабричного производства.

На Командорах и сейчас есть люди, которые умеют выделывать кишки и шкуры морских животных, шить из них одежду и обувь.

В старину алеутки славилась исключительной способностью плетения из морской травы «керьюх» — циновок для застилки земляного пола в жилище, корзин, сумок для домашних надобностей и маленьких сумочек, украшенных орнаментами из цветного гаруса. Это были образцы высокого искусства. В наши дни они могли бы занять видное место на всемирных выставках. Е. А. Старчак на Медном и Ю. С. Ладыгина на Беринге и сейчас умеют плести сумки и сумочки из травы «керьюх».

Необходимо возродить старые национальные промыслы и занятия алеутов, пока живы еще умельцы среди коренного населения. Надо прививать учащимся в школе на уроках труда умение выделывать шкуры морского зверя, птиц и рыб, шить торбоза и камлейки, плести корзины и сумки, а в дальнейшем организовать на Командорах (и в других районах) артели по изготовлению промысловой одежды и обуви, плете-

нию из морской травы вещей, нужных в домашнем быту. Если разрешению этих вопросов не уделить внимания, то в ближайшие годы национальные ремесла алеутов, их неповторимое искусство исчезнут бесследно. Известно, что на всем земном шаре до настоящего времени сохранилось немногим больше 1000 алеутов. В середине XVIII в., когда были открыты Алеутские острова, общее количество алеутов исчислялось в 20—25 тыс. человек; алеуты жили на Аляске и почти на каждом острове Алеутского архипелага, причем на наиболее заселенных островах Умнаке и Уналашке насчитывалось по двадцать и больше деревень. Но после открытия островов их население стало быстро редеть; междоусобные войны, распри, истребление алеутов жестокими промышленниками всех национальностей, голод, эпидемии привели к тому, что количество алеутов резко сократилось.

Хищническая эксплуатация алеутов со стороны американских биржевых дельцов после продажи Аляски и Алеутских островов США в 1867 г. угрожала самому их существованию. Изучение метрических книг на Беринге за период с 1902 по 1920 г. и других архивных материалов и похозяйственных книг за последние годы убедительно показывает, что процесс вымирания алеутов на Командорских островах, который был ярко выражен в досоветский период (в подавляющем большинстве случаев умирали от чахотки, истощения, детской слабости как следствия недоедания и необеспеченного существования), прекратился благодаря усилиям советской медицины, бесперебойному снабжению населения продуктами питания, обеспеченности жильем и в значительной мере благодаря метисации с русскими. Начиная с 1937—1938 г. почти полностью прекратилась детская смертность. В некоторых семьях имеется по 9—10 человек детей (Березины, Тютерева), и все они находятся на полном государственном обеспечении с момента рождения до окончания учебы. Дети воспитываются в яслях, детских садах и школах-интернатах.

Всего алеутов в СССР на 1 января 1961 г. насчитывается 409 человек, из которых 347 человек живет на Командорских островах и 62 человека учится в вузах, специальных средних учебных заведениях, мореходном училище и работает во флоте в Усть-Камчатске, Петропавловске-Камчатском и Владивостоке.

Алеуты грамотны на 100%, многие имеют семилетнее и десятилетнее образование, среднее специальное: женщины — чаще медицинское и педагогическое; мужчины — мореходное; есть алеуты, окончившие педагогические вузы. Мужская молодежь исключительно способна в области технических наук, в механике, электротехнике, но особенно в мореходстве, в чем сказывается старинная традиция.

Все взрослые алеуты владеют своим родным языком и хорошо знают русский, а дети в садах и школах-интернатах лучше знают русский язык, а свой родной — понимают, но отвечают по-русски на заданный вопрос, говорить по-алеутски затрудняются. У алеутов очень сильно развито сознание национального единства. Они сохранили 6 национальных песен на родном языке и 5 танцев-инсценировок.

На Беринге и Медном есть больницы, оборудованные по современным требованиям, хорошо обеспеченные медикаментами, помещениями и медицинскими кадрами высшей квалификации. В быт современных алеутов прочно вошли радио, электричество, кино, библиотека; автотранспорт, паромы, катера, сейнеры. Без работы клуба и библиотеки невозможно представить жизнь современных алеутов командорских островов. Газеты и журналы выписывают почти все семьи. Свою национальную одежду и обувь алеуты сменили на общеевропейскую.

Интересна в связи с этим судьба основной части алеутов, находящихся на территории, приобретенной Соединенными Штатами Америки. Новые хозяева островов старались вытравить из жизни алеутов остатки влияния русских, перестроить их экономический быт, вменили в обязанность изучение английского языка. В ответ получили усиленное обращение к православию — религии русских. Появление русских кораблей у Алеутских островов всегда привлекало алеутов и вызывало у них приступы тоски по родине, по России.

В июле 1942 г. японцы бомбардировали Датч-Харбор и остров Атту. На другой день все жители Атту были вывезены в Японию, и все алеуты, кроме двух, умерли в концлагере.

После вторжения японцев на остров Атту американцы поспешно эвакуировали всех алеутов с Алеутских островов в юго-восточную часть Аляски. На Атхе американцы сожгли все постройки, чтобы они не достались японцам. Алеуты на Аляске впервые увидели дерево, лес, некоторые из них побывали в США. Но жизнь в иной географической среде, между индейцами, которые сто лет тому назад рассматривались ими как злейшие враги (они когда-то вытеснили часть алеутов на острова), не привила алеутам вкуса к новой обстановке. Когда в 1945 г. алеутам объявили, что желающие могут вернуться на Алеутские острова, эту «колыбель ветров», их радости не было границ; они возвратились на родину, но, к сожалению, вместо 5000 человек, насчитывавшихся до войны, по возвращении их оказалось меньше 1000. «И этот процесс вымирания не приостановлен». Последние сведения почерпнуты мною из увлекательной книги молодого американского ученого, ботаника, выпускника Мичиганского университета Теда Бенка «Колыбель ветров».

Для дальнейшего развития экономики и культуры алеутов нам, однако, нужно сделать еще много. Это в первую очередь касается правильной организации хозяйства и использования богатых природных ресурсов этого необычного края.

Главное богатство островов — морские котики, каждое лето они приходят на свои лежбища, расположенные в совершенно определенных местах. Убой котиков строго лимитирован, разрешается отгон и выборочный убой лишних молодых 2—3-летних самцов-холостяков.

Голубые песцы, спокон веков водившиеся на Командорах, составляют вторую важную статью дохода; на Медном песцы в летний период свободно бегают по острову и сами добывают себе корм; только с наступлением зимы в поисках пищи они приходят к кормушкам, где их и забивают. На Беринге организована одна из крупнейших в Советском Союзе звероферм голубого песца. Работой на зверокомбинате заняты почти все алеуты Командорских островов. Объединенные в одном совхозе «Командор», алеуты получают заработную плату от 52 до 315 руб. в месяц на Беринге и от 50 до 67 руб. — на Медном. Основными занятиями алеутов остаются до сих пор промысел морского котика и работа на звероферме голубого песца.

На Командорах производится лишь первичная обработка шкур котиков и посолка их; свернутые рулонами и упакованные в бочки, они отправляются в Ленинград для окончательной выделки. А разве нельзя обрабатывать шкуры котика поближе к Командорам? Определение качества шкур и оплата за них производятся в Ленинграде. Этим наносится большой ущерб алеутам-добытчикам, так как на длительном пути от Командор до Ленинграда с несколькими перевалками с суши на воду и с воды на сушу теряется качество шкур. Нужно присылать на Командоры приемщиков пушнины и расплачиваться с алеутами на месте.

Думается, что большую часть песцов можно перевезти с Командор на восточное побережье Камчатки, где имеется постоянная неограниченная кормовая база, или наладить заготовку достаточного количества кормов на Командорских островах, отказавшись от завоза рыбы с Камчатки. Замена песка норкой в камчатских условиях нам представляется неразумной: в суровых климатических условиях Камчатки норка будет гибнуть от холода в вольерах, так как у нее короткая шерсть, а, как известно, природа позаботилась одеть всех северных зверей в теплые шкуры с длинной шерстью.

Большое значение для Командор имеет в настоящее время скотоводство: на острове Беринга 93 головы крупного рогатого скота, в том числе 36 дойных коров, выведена своя командорская порода коров от остфридской, привезенной с Дальнего Востока, и сахалинской; имеется 14 лошадей; весь скот прекрасной упитанности. Влажность и умеренность климата на острове Беринга создают благоприятные условия для роста трав, а следовательно, и для развития скотоводства.

Олени, завезенные на остров Беринга из района Караги, хорошо размножаются здесь, гуляют по острову без присмотра, поскольку на Командорах нет хищных зверей — волков и медведей. Оленей отстреливают на мясо по мере необходимости.

Овощеводство на Командорах затруднено низкими летними температурами, большой облачностью, туманами и губительным влиянием постоянных сильных ветров. Даже корнеплоды — картофель и репа — рождаются плохо, морковь очень мелкая; удаются редис, щавель, салат. Вероятно, будут давать урожай клубника, виктория и редька.

Развивая свиноводство и птицеводство на Командорах, нужно подумать о местных кормах, чтобы не расходовать привозное пшено и особенно гречу.

Необходимо усилить внимание к рыболовству на Командорах. Красная рыба, или нерка, идет возле берега большими косяками, ловить и заготавливать ее не составляет большого труда. Возле Командор водятся кижуч, много корюшки и др., но промысел рыбы совсем незначителен, а заготовка рыбы впрок — и того меньше.

Не менее важно и другое: изучение оригинальной национальной культуры алеутов. Пока не поздно (а сейчас время еще не упущено!) нужно спасти для будущего образцы алеутского языка, их искусство, заснять на киноплёнку их национальные танцы и игры и записать алеутские национальные песни, сказки и рассказы, сохранив все это для будущих поколений и, в первую очередь, для самих алеутов. Думается, что эта работа должна быть включена, как одна из первоочередных, в план Сектора истории и филологии Института экономики СО АН СССР.

Сектор истории и филологии
Института экономики
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
17/IV 1962

П. М. АЛАБУЖЕВ,
И. Я. ШПИГЕЛЬБУРД, А. Н. БОРИСОВА

О ДВИЖЕНИИ НЕ ВПОЛНЕ СИММЕТРИЧНОГО ГИРОМАЯТНИКА, УСТАНОВЛЕННОГО НА НЕПОДВИЖНОМ ОСНОВАНИИ, ПРИ ОТСУТСТВИИ СИЛ ТРЕНИЯ В ОПОРЕ

В литературе, посвященной изучению движения гироскопического маятника, последний обычно предполагается симметричным относительно полярной оси [1—4]. Лишь в последнее время опубликованы работы [5—9], в которых исследуется влияние неточности посадки ротора, его упругих деформаций, люфтов и т. п. на движение гироскопа. Однако проблема изучения погрешностей гироскопических приборов в зависимости от асимметрии, обусловленной как технологическими допусками, так и другими факторами, столь обширна, что указанные работы, конечно, ее не исчерпали. Актуальность же изучения этой проблемы в связи с возрастающими требованиями к точности работы гироскопических устройств очевидна.

В настоящей статье рассматривается движение гиромаятника, имеющего относительно полярной оси статическую и динамическую неуравновешенность. Предполагается, что асимметрия гиромаятника мала, основание, на котором установлен гиромаятник, неподвижное, силы трения в опоре маятника настолько малы, что ими можно пренебречь. Движение гиромаятника исследуется без учета инерции колец кардана подвеса. Учет этих факторов не представляет принципиальных затруднений и при необходимости может быть выполнен методами, примененными, например, в работах [1, 2].

1. КООРДИНАТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ

Пусть правая координатная система $OXYZ$ (рис. 1) «неподвижная», причем ось OX направлена вертикально вверх. Обозначим ось гироскопа через $O\xi$; положение ее определим двумя углами типа углов Крылова-де Спарра: 1) $\alpha = \angle XON$ — углом между осью OX и проекцией ON оси $O\xi$ на вертикальную плоскость XOY и 2) $\angle = LNO\xi$ — углом, который ось $O\xi$ составляет с плоскостью XOY . Введем еще две правые координатные системы: «полуподвижную» $O\xi\eta_1\zeta_1$ и неизменно связанную с гиромаятником $O\xi\eta\zeta$. У «полуподвижной» системы $O\xi\eta_1\zeta_1$ ось $O\eta_1$ расположим в плоскости XOY , направив ее так, чтобы $\angle YO\eta_1 = \angle XON = \alpha$. Система $O\xi\eta\zeta$ повернута относительно системы $O\xi\eta_1\zeta_1$ на угол собственного вращения гиромаятника φ .

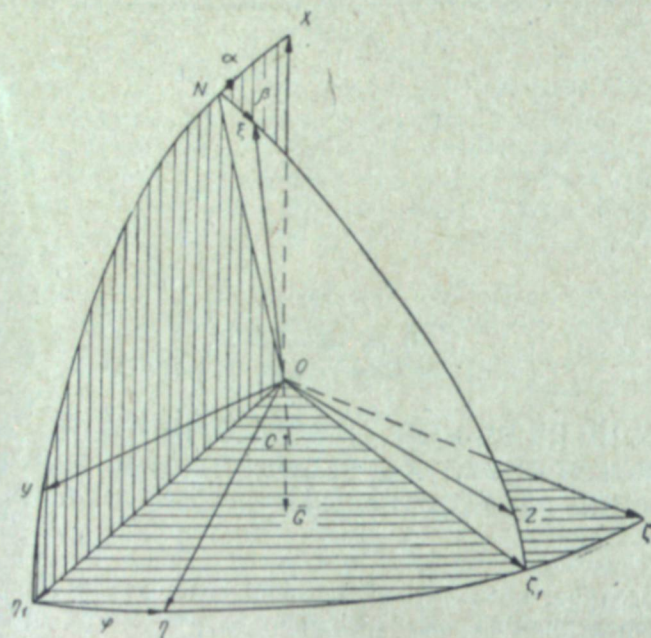


Рис. 1. Координатные параметры, определяющие положение гиromаятника.

Косинусы углов между осями $OXYZ$ и $O\xi\eta\zeta_1$ таковы:

	x	y	z
ξ	$\cos \alpha \cos \beta$	$\sin \alpha \cos \beta$	$\sin \beta$
η_1	$-\sin \alpha$	$\cos \alpha$	0
ζ_1	$-\cos \alpha \sin \beta$	$-\sin \alpha \sin \beta$	$\cos \beta$

Угловая скорость гиromаятника равна геометрической сумме

$$\bar{\omega} = \bar{\alpha} + \bar{\beta} + \bar{\varphi}.$$

Учитывая, что

$$\bar{\alpha} = \alpha \bar{Z}^0,$$

$$\bar{\beta} = -\beta \bar{\eta}_1^0,$$

$$\bar{\varphi} = \varphi \bar{\xi}^0,$$

где \bar{Z}^0 , $\bar{\eta}_1^0$ и $\bar{\xi}^0$ — единичные векторы соответственных осей, и используя приведенную выше таблицу косинусов, определяем проекции угловой скорости гиromаятника на оси $O\xi\eta_1\zeta_1$:

$$\omega_\xi = \varphi + \alpha \sin \beta,$$

$$\omega_{\eta_1} = -\beta,$$

$$\omega_{\zeta_1} = \alpha \cos \beta.$$

(1)

Оси $O\xi\eta_1\zeta_1$ не участвуют в собственном вращении гиromаятника, поэтому их угловая скорость

$$\bar{\Omega} = \bar{\alpha} + \bar{\beta}$$

и проекции $\bar{\Omega}$ на оси $O\xi\eta_1\zeta_1$

$$\Omega = \alpha \sin \beta,$$

$$\Omega_{\eta_1} = -\beta,$$

$$\Omega_{\zeta_1} = \alpha \cos \beta.$$

(2)

2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГИРОМАЯТНИКА

На основании теоремы моментов

$$\frac{d\bar{K}}{dt} = \Sigma \bar{M}_0, \quad (3)$$

где \bar{K} — кинетический момент гиromаятника и $\Sigma \bar{M}_0$ — суммарный момент относительно неподвижной точки O внешних сил, приложенных к гиromаятнику.

Проектируя векторное равенство (3) на оси $O\xi\eta_1\zeta_1$, получаем обобщенные уравнения Эйлера:

$$\frac{dK_\xi}{dt} + \Omega_{\eta_1} K_\xi - \Omega_{\zeta_1} K_{\eta_1} = \Sigma M_{0\xi},$$

$$\frac{dK_{\eta_1}}{dt} + \Omega_{\zeta_1} K_\xi - \Omega_\xi K_{\zeta_1} = \Sigma M_{0\eta_1}, \quad (4)$$

$$\frac{dK_{\zeta_1}}{dt} + \Omega_\xi K_{\eta_1} - \Omega_{\eta_1} K_\xi = \Sigma M_{0\zeta_1},$$

причем проекции кинетического момента \bar{K} на оси $O\xi\eta_1\zeta_1$, поскольку последние не являются главными осями инерции, будут [2, 3]

$$K_\xi = I_\xi \omega_\xi - I_{\xi\eta_1} \omega_{\eta_1} - I_{\xi\zeta_1} \omega_{\zeta_1},$$

$$K_{\eta_1} = I_{\eta_1} \omega_{\eta_1} - I_{\eta_1\zeta_1} \omega_{\zeta_1} - I_{\eta_1\xi} \omega_\xi, \quad (5)$$

$$K_{\zeta_1} = I_{\zeta_1} \omega_{\zeta_1} - I_{\zeta_1\xi} \omega_\xi - I_{\zeta_1\eta_1} \omega_{\eta_1}.$$

Входящие в соотношения (5) экваториальные моменты инерции I_{η_1} , I_{ζ_1} и центробежные моменты $I_{\xi\eta_1}$, $I_{\xi\zeta_1}$ и $I_{\eta_1\zeta_1}$ являются функциями времени t , так как оси $O\xi\eta_1\zeta_1$ не связаны с гиromаятником.

Будем рассматривать движение гиromаятника при следующих упрощающих обстоятельствах:

1) отклонение оси $O\xi$ от вертикали OX малы, поэтому можно принять, что

$$\sin \alpha = \alpha; \quad \cos \alpha = 1;$$

$$\sin \beta = \beta; \quad \cos \beta = 1;$$

2) угловая скорость φ весьма велика по сравнению с угловыми скоростями α и β ;

3) асимметрия гиromаятника относительно его оси $O\xi$ мала; в этом случае амплитудные значения центробежных моментов инерции $I_{\xi\eta_1}$, $I_{\xi\zeta_1}$ и $I_{\eta_1\zeta_1}$ будут малы по сравнению с моментами инерции I_ξ , I_{η_1} и I_{ζ_1} . Обозначим аксиальный момент инерции I_ξ через A . Переменные

экваториальные моменты инерции I_{η_1} и I_{ζ_1} в случае малой асимметрии гиromаятника могут быть представлены в виде

$$\begin{aligned} I_{\eta_1} &= C + \varepsilon'(t), \\ I_{\zeta_1} &= C + \varepsilon''(t), \end{aligned}$$

где $C = \text{const}$, а $\varepsilon'(t)$ и $\varepsilon''(t)$ — функции времени, причем их небольшие значения малы в сравнении с величиной C .

Учитывая изложенное выше при линейаризации проекций кинетического момента (5), получаем:

$$\begin{aligned} K_{\xi} &= A \dot{\varphi}, \\ K_{\eta_1} &= -C \dot{\beta} - I_{\eta_1 \xi} \dot{\varphi}, \\ K_{\zeta_1} &= C \dot{\alpha} - I_{\zeta_1 \xi} \dot{\varphi}. \end{aligned} \quad (6)$$

Имея в виду, что связанные с гиromаятником оси $O\xi\eta\zeta$ повернуты относительно осей $O\xi_1\eta_1\zeta_1$ на угол φ , можем выразить переменные центробежные инерции $I_{\eta_1 \xi}$ и $I_{\zeta_1 \xi}$ через постоянные $I_{\eta_1 \xi}$ и $I_{\zeta_1 \xi}$:

$$\begin{aligned} I_{\eta_1 \xi} &= I_{\eta_1 \xi} \cos \varphi - I_{\zeta_1 \xi} \sin \varphi, \\ I_{\zeta_1 \xi} &= I_{\eta_1 \xi} \sin \varphi + I_{\zeta_1 \xi} \cos \varphi, \end{aligned} \quad (7)$$

причем порядок малости постоянных центробежных моментов инерции $I_{\eta_1 \xi}$ и $I_{\zeta_1 \xi}$ тот же, что и у переменных I_{η_1} и I_{ζ_1} .

На основании (7) запишем проекции кинетического момента (6) в виде:

$$\begin{aligned} K_{\xi} &= A \dot{\varphi}, \\ K_{\eta_1} &= -C \dot{\beta} - (I_{\eta_1 \xi} \cos \varphi - I_{\zeta_1 \xi} \sin \varphi) \dot{\varphi}, \\ K_{\zeta_1} &= C \dot{\alpha} - (I_{\eta_1 \xi} \sin \varphi + I_{\zeta_1 \xi} \cos \varphi) \dot{\varphi}. \end{aligned} \quad (8)$$

Подставив (8) и (2) в уравнения (4), после линейаризации получим:

$$\begin{aligned} A \ddot{\varphi} &= \Sigma M_{o \xi}, \\ -C \ddot{\beta} + A \dot{\varphi} \dot{\alpha} + (I_{\eta_1 \xi} \sin \varphi + I_{\zeta_1 \xi} \cos \varphi) \dot{\varphi}^2 - (I_{\eta_1 \xi} \cos \varphi - I_{\zeta_1 \xi} \sin \varphi) \ddot{\varphi} &= \Sigma M_{o \eta_1}, \\ C \ddot{\alpha} + A \dot{\varphi} \dot{\beta} - (I_{\eta_1 \xi} \cos \varphi - I_{\zeta_1 \xi} \sin \varphi) \dot{\varphi}^2 - (I_{\eta_1 \xi} \sin \varphi + I_{\zeta_1 \xi} \cos \varphi) \ddot{\varphi} &= \Sigma M_{o \zeta_1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Представим главный момент (относительно неподвижной точки O) приложенных к гиromаятнику внешних сил в виде

$$\Sigma \bar{M}_o = \bar{M}_o(\bar{G}) + \bar{M}_o, \quad (10)$$

где $\bar{M}_o(\bar{G})$ — момент силы тяжести \bar{G} , \bar{M}_o — момент всех прочих внешних сил.

Пусть r_c ($-I_c, \eta_c, \zeta_c$) — радиус-вектор центра тяжести гиromаятника, проведенный из неподвижной точки O , причем эксцентриситет центра тяжести относительно оси $O\xi$, определяемый координатами η_c и ζ_c , мал. Найдем проекции момента

$$\bar{M}_o(\bar{G}) = \bar{r}_c \times \bar{G}$$

на оси $O\xi_1\eta_1\zeta_1$.

Учитывая, что

$$\begin{aligned} \bar{G} &= -G \bar{X}^0 = -G (\bar{\xi}^0 \cos \alpha \cos \beta - \bar{\eta}_1^0 \sin \alpha - \bar{\zeta}_1^0 \cos \alpha \sin \beta) \approx \\ &\approx -G \bar{\xi}^0 + G \alpha \bar{\eta}_1^0 + G \beta \bar{\zeta}_1^0 \\ \eta_{1c} &= \eta_c \cos \varphi - \zeta_c \sin \varphi, \\ \zeta_{1c} &= \eta_c \sin \varphi + \zeta_c \cos \varphi, \end{aligned}$$

находим, что с принятой точностью (удерживая малые не выше первого порядка)

$$\begin{aligned} M_{o \xi}(\bar{G}) &= 0, \\ M_{o \eta_1}(\bar{G}) &= G I_c \beta - G (\eta_c \sin \varphi + \zeta_c \cos \varphi), \\ M_{o \zeta_1}(\bar{G}) &= -G I_c \alpha + G (\eta_c \cos \varphi - \zeta_c \sin \varphi). \end{aligned} \quad (11)$$

Имея в виду (10) и (11), линейаризованные уравнения движения не вполне симметричного гиromаятника можно представить так:

$$\begin{aligned} A \ddot{\varphi} &= M_{o \xi}, \\ -C \ddot{\beta} + A \dot{\varphi} \dot{\alpha} + (I_{\eta_1 \xi} \sin \varphi + I_{\zeta_1 \xi} \cos \varphi) \dot{\varphi}^2 - \\ - (I_{\eta_1 \xi} \cos \varphi - I_{\zeta_1 \xi} \sin \varphi) \ddot{\varphi} - G I_c \beta + G (\eta_c \sin \varphi + \zeta_c \cos \varphi) &= M_{o \eta_1}, \\ C \ddot{\alpha} + A \dot{\varphi} \dot{\beta} + (I_{\eta_1 \xi} \cos \varphi - I_{\zeta_1 \xi} \sin \varphi) \dot{\varphi}^2 - \\ - (I_{\eta_1 \xi} \sin \varphi + I_{\zeta_1 \xi} \cos \varphi) \ddot{\varphi} + G I_c \alpha - G (\eta_c \cos \varphi - \zeta_c \sin \varphi) &= M_{o \zeta_1}. \end{aligned} \quad (12)$$

Подчеркнем, что в правых частях уравнений (12) выражены моменты относительно осей $O\xi_1\eta_1\zeta_1$ всех приложенных к гироскопу внешних сил, за исключением силы тяжести. Интегрирование уравнений (12) при соответствующих начальных условиях позволяет получить полную картину движения не вполне симметричного гиromаятника при малых отклонениях от вертикали.

3. ДВИЖЕНИЕ ГИРОМАЯТНИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОЛЬКО МОМЕНТА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Для выявления влияния асимметрии на движение гиromаятника проинтегрируем уравнения (12) в наиболее простом частном случае, когда на гиromаятник действует только момент силы тяжести. В этом случае в правых частях уравнений (12) надо принять

$$M_{o \xi} = M_{o \eta_1} = M_{o \zeta_1} = 0.$$

Интегрируя первое уравнение (12), получаем:

$$\varphi = \text{const} = p_0, \quad \dot{\varphi} = p_0 t + \varphi_0. \quad (13)$$

откуда видно, что движение гиromаятника вокруг его оси $O\xi$ при принятой в уравнениях (12) точности представляет собой равномерное вращение с угловой скоростью p_0 .

С учетом (13) второе и третье уравнения (12) принимают вид:

$$\begin{aligned} C \ddot{\beta} - A p_0 \dot{\alpha} + G I_c \beta &= (I_{\eta_1 \xi} p_0^2 + G \eta_c) \sin(p_0 t + \varphi_0) + \\ &+ (I_{\zeta_1 \xi} p_0^2 + G \zeta_c) \cos(p_0 t + \varphi_0), \\ C \ddot{\alpha} + A p_0 \dot{\beta} + G I_c \alpha &= (I_{\eta_1 \xi} p_0^2 + G \eta_c) \cos(p_0 t + \varphi_0) - \\ &- (I_{\zeta_1 \xi} p_0^2 + G \zeta_c) \sin(p_0 t + \varphi_0). \end{aligned} \quad (14)$$

Систему уравнений (14) запишем в виде:

$$\ddot{\alpha} + 2\lambda p_0 \dot{\beta} + (kp_0)^2 \alpha = d_1 p_0^2 \cos(p_0 t + \varphi_0) - d_2 p_0^2 \sin(p_0 t + \varphi_0), \quad (15)$$

$$\ddot{\beta} - 2\lambda p_0 \dot{\alpha} + (kp_0)^2 \beta = d_1 p_0^2 \sin(p_0 t + \varphi_0) + d_2 p_0^2 \cos(p_0 t + \varphi_0),$$

где введены обозначения:

$$2\lambda = \frac{A}{C}; \quad d_1 = \frac{I_{\eta} p_0^2 + G_{\eta} c}{C p_0^2}, \quad (16)$$

$$k^2 = \frac{G I_c}{C p_0^2}; \quad d_2 = \frac{I_{\zeta} p_0^2 + G \zeta c}{G p_0^2}.$$

Все коэффициенты (16) — безразмерные постоянные величины. После умножения обеих частей второго уравнения (15) на $i = \sqrt{-1}$, почленного сложения с первым уравнением (15) и введения комплексного угла [1—3]

$$\Delta = \alpha + i\beta \quad (17)$$

вместо системы (15) получаем одно уравнение

$$\ddot{\Delta} = 2i\lambda p_0 \dot{\Delta} + (kp_0)^2 \Delta = (d_1 + id_2) p_0^2 e^{i(p_0 t + \varphi_0)}. \quad (15')$$

Общее решение уравнения (15') складывается из общего решения однородного уравнения

$$\ddot{\Delta}_0 - 2i\lambda p_0 \dot{\Delta}_0 + (kp_0)^2 \Delta_0 = 0$$

и частного решения неоднородного уравнения (15').

Общее решение однородного уравнения

$$\Delta_0 = C_1 e^{i\omega_1 t} + C_2 e^{-i\omega_2 t}, \quad (18)$$

где

$$\omega_1 = (\sqrt{\lambda^2 + k^2} + \lambda) p_0, \quad (19)$$

$$\omega_2 = (\sqrt{\lambda^2 + k^2} - \lambda) p_0,$$

C_1 и C_2 — комплексные постоянные интегрирования.

Частное решение неоднородного уравнения (15') ищем в форме

$$\Delta_r = D e^{i(p_0 t + \varphi_0)}.$$

Подставив это выражение в (15'), находим

$$D = \frac{d_1 + id_2}{2\lambda + k^2 - 1} \quad (20)$$

и, следовательно,

$$\Delta_r = \frac{d_1 + id_2}{2\lambda + k^2 - 1} e^{i(p_0 t + \varphi_0)}. \quad (21)$$

На основании (18) и (21) общий интеграл уравнения (15')

$$\Delta = C_1 e^{i\omega_1 t} + C_2 e^{-i\omega_2 t} + \frac{d_1 + id_2}{2\lambda + k^2 - 1} e^{i(p_0 t + \varphi_0)}. \quad (22)$$

Из выражения (22) видно, что движение оси гиromаятника можно трактовать как состоящее из следующих трех движений, наложенных друг на друга:

1) конического движения с угловой скоростью

$$\omega_1 = (\sqrt{\lambda^2 + k^2} + \lambda) p_0$$

и радиусом кругового основания конуса, равным модулю комплексного числа C_1 ; это вращение совершается против часовой стрелки, если $p_0 > 0$;

2) конического движения с угловой скоростью

$$\omega_2 = (\sqrt{\lambda^2 + k^2} - \lambda) p_0$$

и радиусом основания конуса, равным модулю числа C_2 ; это вращение совершается по часовой стрелке (при $p_0 > 0$);

3) конического движения с угловой скоростью собственного вращения p_0 и радиусом основания конуса, равным модулю числа D (20); вращение совершается против часовой стрелки (при $p_0 > 0$).

Записав комплексные постоянные C_1 и C_2 , входящие в общий интеграл (22), в форме

$$C_1 = E_1 + iF_1,$$

$$C_2 = E_2 + iF_2,$$

разделив затем в (22) вещественную и мнимую части и имея в виду (17), определяем закон изменения углов α и β :

$$\alpha = E_1 \cos \omega_1 t - F_1 \sin \omega_1 t + E_2 \cos \omega_2 t + F_2 \sin \omega_2 t +$$

$$+ \frac{d_1}{2\lambda + k^2 - 1} \cos(p_0 t + \varphi_0) - \frac{d_2}{2\lambda + k^2 - 1} \sin(p_0 t + \varphi_0),$$

$$\beta = E_1 \sin \omega_1 t + F_1 \cos \omega_1 t - E_2 \sin \omega_2 t + F_2 \cos \omega_2 t + \quad (23)$$

$$+ \frac{d_1}{2\lambda + k^2 - 1} \sin(p_0 t + \varphi_0) + \frac{d_2}{2\lambda + k^2 - 1} \cos(p_0 t + \varphi_0).$$

Дифференцируя (23), находим угловые скорости

$$\dot{\alpha} = -E_1 \omega_1 \sin \omega_1 t - F_1 \omega_1 \cos \omega_1 t - E_2 \omega_2 \sin \omega_2 t +$$

$$+ F_2 \omega_2 \cos \omega_2 t - \frac{d_1 p_0}{2\lambda + k^2 - 1} \sin(p_0 t + \varphi_0) - \frac{d_2 p_0}{2\lambda + k^2 - 1} \cos(p_0 t + \varphi_0),$$

$$\dot{\beta} = E_1 \omega_1 \cos \omega_1 t - F_1 \omega_1 \sin \omega_1 t - E_2 \omega_2 \cos \omega_2 t - F_2 \omega_2 \sin \omega_2 t + \quad (24)$$

$$+ \frac{d_1 p_0}{2\lambda + k^2 - 1} \cos(p_0 t + \varphi_0) - \frac{d_2 p_0}{2\lambda + k^2 - 1} \sin(p_0 t + \varphi_0).$$

Определим теперь постоянные интегрирования E_1 , F_1 , E_2 и F_2 . Пусть начальные условия таковы:

при $t=0$

$$\alpha = \alpha_0; \quad \beta = \beta_0;$$

$$\dot{\alpha} = \dot{\alpha}_0; \quad \dot{\beta} = \dot{\beta}_0.$$

Подставив эти условия в (23) и (24), получаем систему уравнений

$$\alpha_0 = E_1 + E_2 + \frac{d_1}{2\lambda + k^2 - 1} \cos \varphi_0 - \frac{d_2}{2\lambda + k^2 - 1} \sin \varphi_0,$$

$$\beta_0 = F_1 + F_2 + \frac{d_1}{2\lambda + k^2 - 1} \sin \varphi_0 + \frac{d_2}{2\lambda + k^2 - 1} \cos \varphi_0,$$

$$\begin{aligned}\dot{\alpha}_0 &= -F_1 \omega_1 + F_2 \omega_2 - \frac{d_1}{2\lambda + k^2 - 1} p_0 \sin \varphi_0 - \frac{d_2}{2\lambda + k^2 - 1} p_0 \cos \varphi_0, \\ \dot{\beta}_0 &= E_1 \omega_1 - E_2 \omega_2 + \frac{d_1}{2\lambda + k^2 - 1} p_0 \cos \varphi_0 - \frac{d_2}{2\lambda + k^2 - 1} p_0 \sin \varphi_0,\end{aligned}$$

откуда следует

$$\begin{aligned}E_1 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[\dot{\beta}_0 + \alpha_0 \omega_2 - (\omega_2 + p_0) \frac{d_1 \cos \varphi_0 - d_2 \sin \varphi_0}{2\lambda + k^2 - 1} \right], \\ F_1 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[-\dot{\alpha}_0 + \beta_0 \omega_2 - (\omega_2 + p_0) \frac{d_1 \sin \varphi_0 + d_2 \cos \varphi_0}{2\lambda + k^2 - 1} \right], \\ E_2 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[-\dot{\beta}_0 + \alpha_0 \omega_1 - (\omega_1 - p_0) \frac{d_1 \cos \varphi_0 - d_2 \sin \varphi_0}{2\lambda + k^2 - 1} \right], \\ F_2 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[\dot{\alpha}_0 + \beta_0 \omega_1 - (\omega_1 - p_0) \frac{d_1 \sin \varphi_0 + d_2 \cos \varphi_0}{2\lambda + k^2 - 1} \right].\end{aligned}\quad (25)$$

Подставив значения постоянных интегрирования (25) в выражения (23), можем заключить, что движение оси гиromаятника в координатах α и β представляет собой наложение следующих колебаний:

1) свободных колебаний, совершающихся с круговой частотой ω_1 :

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[(\dot{\beta}_0 + \alpha_0 \omega_2) \cos \omega_1 t + (\alpha_0 - \beta_0 \omega_2) \sin \omega_1 t \right], \\ \beta_1 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[(\dot{\beta}_0 + \alpha_0 \omega_2) \sin \omega_1 t - (\alpha_0 - \beta_0 \omega_2) \cos \omega_1 t \right];\end{aligned}\quad (26)$$

2) свободных колебаний, совершающихся с круговой частотой ω_2 :

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[-(\dot{\beta}_0 - \alpha_0 \omega_1) \cos \omega_2 t + (\alpha_0 + \beta_0 \omega_1) \sin \omega_2 t \right], \\ \beta_2 &= \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \left[(\dot{\beta}_0 - \alpha_0 \omega_1) \sin \omega_2 t + (\alpha_0 + \beta_0 \omega_1) \cos \omega_2 t \right];\end{aligned}$$

3) колебаний, вызванных возмущающим инерционным моментом, обусловленным асимметрией гиromаятника, и совершающихся с круговой частотой ω_1 свободных колебаний

$$\begin{aligned}\alpha_3 &= -\frac{\omega_2 + p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} \left[(d_1 \cos \varphi_0 - d_2 \sin \varphi_0) \cos \omega_1 t - \right. \\ &\quad \left. - (d_1 \sin \varphi_0 + d_2 \cos \varphi_0) \sin \omega_1 t \right], \\ \beta_3 &= -\frac{\omega_2 + p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} \left[(d_1 \cos \varphi_0 - d_2 \sin \varphi_0) \sin \omega_1 t + \right. \\ &\quad \left. + (d_1 \sin \varphi_0 + d_2 \cos \varphi_0) \cos \omega_1 t \right];\end{aligned}\quad (28)$$

4) колебаний, вызванных возмущающим инерционным моментом, обусловленным асимметрией гиromаятника, и совершающихся с круговой частотой ω_2 свободных колебаний

$$\begin{aligned}\alpha_4 &= -\frac{\omega_1 - p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} \left[(d_1 \cos \varphi_0 - d_2 \sin \varphi_0) \cos \omega_2 t + \right. \\ &\quad \left. + (d_1 \sin \varphi_0 + d_2 \cos \varphi_0) \sin \omega_2 t \right], \\ \beta_4 &= -\frac{\omega_1 - p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} \left[- (d_1 \cos \varphi_0 - d_2 \sin \varphi_0) \sin \omega_2 t + \right. \\ &\quad \left. + (d_1 \sin \varphi_0 + d_2 \cos \varphi_0) \cos \omega_2 t \right];\end{aligned}\quad (29)$$

5) чисто вынужденных колебаний, вызванных возмущающим инерционным моментом, обусловленным асимметрией гиromаятника, и совершающихся с круговой частотой p_0 :

$$\begin{aligned}\alpha_5 &= \frac{1}{2\lambda + k^2 - 1} [d_1 \cos(p_0 t + \varphi_0) - d_2 \sin(p_0 t + \varphi_0)], \\ \beta_5 &= \frac{1}{2\lambda + k^2 - 1} [d_1 \sin(p_0 t + \varphi_0) + d_2 \cos(p_0 t + \varphi_0)].\end{aligned}\quad (30)$$

Движение оси гиromаятника представляет собой сумму указанных выше колебаний:

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5, \\ \beta &= \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5.\end{aligned}\quad (31)$$

4. СОПОСТАВЛЕНИЕ ДВУХ ЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ

Соотношения (13) и (26) — (31) полностью определяют движение гиromаятника, обладающего малой асимметрией относительно оси $O\xi$, под действием одного лишь момента силы тяжести. Пользуясь выведенными в § 3 соотношениями, сопоставим два частных случая, что даст возможность обнаружить влияние асимметрии гиromаятника.

1. Пусть гиromаятник симметричен относительно оси, и поэтому постоянные d_1 и d_2 (16) равны нулю. Пусть далее начальные условия движения таковы:

$$\begin{aligned}\text{при } t=0 \quad \alpha &= \alpha_0 = 0, \quad \dot{\alpha} = \dot{\alpha}_0 = 0, \\ \beta &= \beta_0 = 0, \quad \dot{\beta} = \dot{\beta}_0 = 0, \\ \varphi &= \varphi_0 = 0, \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = p_0.\end{aligned}\quad (32)$$

В этом случае в соответствии с формулами (26) — (30)

$$\begin{aligned}\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 &= 0, \\ \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 &= 0,\end{aligned}$$

следовательно,

$$\begin{aligned}\alpha &= 0, \\ \beta &= 0.\end{aligned}\quad (33)$$

Согласно (13),

$$\varphi = p_0 t.\quad (34)$$

Таким образом, ось гиromаятника $O\xi$ в течение всего движения совпадает с вертикалью OX ; движение симметричного гиromаятника при начальных условиях (32) представляет собой равномерное вращение вокруг оси $O\xi \equiv OX$. Результат этот в теории гироскопов широко известен [3].

2. Рассмотрим при тех же начальных условиях (32) движение гиromаятника, обладающего малой асимметрией. Пусть для простоты вычислений $I_{\xi\xi} \neq 0$, $I_{\xi\eta} = 0$; $\eta_c \neq 0$ и $\zeta_c = 0$, т. е. согласно (16) $d_1 \neq 0$ и $d_2 = 0$.

Вращение гиromаятника вокруг оси $O\xi$ по-прежнему определяется соотношением (34), но ось $O\xi$, несмотря на отсутствие ее начального отклонения и начальной угловой скорости, уже не будет совпадать с вертикалью в течение всего движения. Действительно, в рассматриваемом случае будут отсутствовать только свободные колебания (26) и (27):

$$\alpha_1 = \beta_1 = \alpha_2 = \beta_2 = 0.$$

Согласно (28) — (30), будем иметь:

$$\alpha_3 = -\frac{\omega_2 + p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} d_1 \cos \omega_1 t,$$

$$\beta_3 = -\frac{\omega_2 + p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} d_1 \sin \omega_1 t;$$

$$\alpha_4 = -\frac{\omega_1 - p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} d_1 \cos \omega_2 t,$$

$$\beta_4 = \frac{\omega_1 - p_0}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} d_1 \sin \omega_2 t;$$

$$\alpha_5 = \frac{1}{2\lambda + k^2 - 1} d_1 \cos p_0 t,$$

$$\beta_5 = \frac{1}{2\lambda + k^2 - 1} d_1 \sin p_0 t.$$

Значит, движение оси гиromaятника будет следовать закону

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{d_1}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} [-(\omega_2 + p_0) \cos \omega_1 t - (\omega_1 - p_0) \cos \omega_2 t + \\ &\quad + (\omega_1 + \omega_2) \cos p_0 t], \\ \beta &= \frac{d_1}{(\omega_1 + \omega_2)(2\lambda + k^2 - 1)} [-(\omega_2 + p_0) \sin \omega_1 t + (\omega_1 - p_0) \sin \omega_2 t + \\ &\quad + (\omega_1 + \omega_2) \sin p_0 t]. \end{aligned} \quad (35)$$

Так как при малых углах α и β справедливо соотношение (рис. 2)

$$\Theta = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2},$$

где Θ — эйлеров угол нутации, то на основании (35) заключаем, что наибольшее отклонение оси гиromaятника от вертикали составит (если считать, как это обычно и принято в технической гироскопии, что $A > C$ и, следовательно, $\omega_1 > p_0$ *)

$$|\Theta_{\text{нб}}| = \frac{2|d_1|}{2\lambda + k^2 - 1}$$

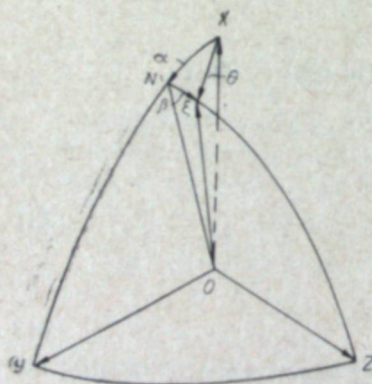


Рис. 2. Связь между углами Θ и углами α и β .

или с учетом (16)

$$|\Theta_{\text{нб}}| = \frac{2|I_{\text{тв}} p_0^2 + G \eta_c|}{(A - C) p_0^2 + G I_c}.$$

Параметр, построенный по типу ($\Theta_{\text{нб}}$) может быть использован для определения предельно допустимых неточностей в изготовлении гироскопа, поскольку такой параметр включает величины, характеризующие статическую и динамическую асимметрию.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Крылов, Ю. А. Крутков, Общая теория гироскопов. Изд. АН СССР, 1932.
2. Е. Л. Николаи, Теория гироскопов. Гостехиздат, 1948.
3. Б. Н. Окунев, Свободное движение гироскопа. Гостехиздат, 1951.
4. А. Ф. Хохлов, Теория и техническое применение автоматических устройств. Машгиз, 1959.
5. В. А. Павлов, О влиянии на движение гироскопа неточности посадки его ротора на ось. Тр. ЛИАП, вып. XXIV, 1957.
6. Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, К вопросу о влиянии упругих и люфтовых смещений на точность работы гироскопического прибора. Тр. ЛКВВИА им. Можайского, вып. 183, 1957.
7. Я. Л. Лунц, Уходы и вибрации неуравновешенного гироскопа. Тр. ЛКВВИА им. Можайского, вып. 292, 1959.
8. Н. В. Бутенин, Г. Г. Ковалевский, Вибрации гироскопа в кардановом подвесе, обусловленные несовпадением оси вращения ротора с его главной полярной осью инерции. Тр. ЛКВВИА им. Можайского, вып. 292, 1959.
9. Г. Г. Сентурия, Уходы гироскопа, обусловленные деформацией ротора, имеющего форму стакана. Тр. ЛКВВИА им. Можайского, вып. 292, 1959.

А. И. ЛИМАСОВ, А. Т. ЧЕПИКОВ

ВОЛЬТСЕКУНДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРНЫХ И НЕПОЛЯРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

Сопоставление электрической прочности полярных и неполярных жидкостей при разных экспозициях представляет интерес для теории [1—4] и практического применения импульсных напряжений [5—7]. Для разработки вопросов импульсной прочности жидкой изоляции и других практических целей [5, 6] необходимо знать зависимость пробивного напряжения жидкостей от времени воздействия напряжения.

В литературе много данных по пробою трансформаторного масла в толщинах порядка нескольких сантиметров на импульсах длительностью $1 \cdot 10^{-6}$ сек и более. Сведения по пробою трансформаторного масла в таких толщинах при временах разряда менее $1 \cdot 10^{-6}$ сек отсутствуют. Нет также данных по вольтсекундным характеристикам воды при ее пробое на импульсном напряжении. Пробивное напряжение воды сильно зависит от времени действия импульсного напряжения. Электрическая прочность речной воды ($\rho_0 = 0,3 \cdot 10^{-4}$ ом · см), измеренная между шарами диаметром 62,5 мм при расстоянии между ними 10 мм и времени разряда $1 \cdot 10^{-5}$ сек, составила 200 кВ/см, а при времени разряда $1 \cdot 10^{-3}$ сек — 20 кВ/см [8]. Возможно, вследствие разной крутизны возрастания вольтсекундных характеристик трансформаторного масла и технической воды с сокращением экспозиции импульсного напряжения электрическая прочность воды будет приближаться к прочности трансформаторного масла. Знание вольтсекундных характеристик позволит более обоснованно принимать необходимую величину импульсного напряжения для разрушения горных пород импульсными электрическими разрядами [5, 6].

В статье изложены результаты экспериментов по снятию вольтсекундных характеристик неполярной (трансформаторное масло) и полярной (техническая вода) жидкостей и эмульсий масла с водой. Показано, что вольтсекундные характеристики трансформаторного масла и технической воды пересекаются. Вольтсекундные характеристики эмульсий масла с водой проходят ниже соответствующих характеристик каждой из компонент. С увеличением содержания масла в эмульсии с 2 до 5% пробивное напряжение эмульсии снижается.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве источника высокого напряжения применялся семиступенчатый генератор импульсных напряжений, собранный по схеме Аркадьева — Маркса (см. [9]). Максимальное напряжение генератора со-

ставляло 400 кВ, емкость «в ударе» — 0,0135 мкФ. Импульсное напряжение измерялось при помощи электронного осциллографа типа ОК-19М и активного делителя напряжения с сопротивлением $R = 3000$ ом. Принципиальная схема импульсного генератора напряжения с устройствами для регулирования формы волны и измерения напряжения показана на рис. 1.

В экспериментах использовались технически чистое трансформаторное масло (прочность по ГОСТу 30 кВ), речная вода (удельное сопротивление $\rho_0 = 0,3 \cdot 10^4$ ом · см) и эмульсии масла в воде. Эмульсии,

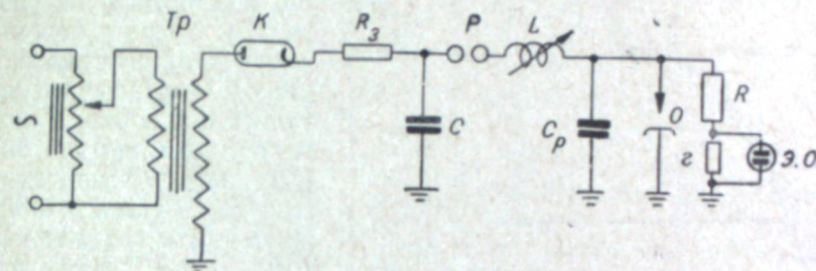


Рис. 1. Принципиальная схема импульсного генератора:
Tr — высоковольтный трансформатор; K — кенотрон; R_3 — зарядное сопротивление; C — генерирующая емкость; P — разделительный промежуток; L и C_p — индуктивность и емкость для формирования импульса; O — пробойник; R, r — делитель напряжения; Э.О. — электронный осциллограф.

приготавливались с помощью эмульсификатора, который обеспечивал надежное получение эмульсии до 5% масла в воде. При большей концентрации масло выпадало из смеси. Исследуемая жидкость заливалась в бачок из органического стекла. В бачок с жидкостью погружались стальные электроды «стержень — плоскость». На стержень, сходящий на конус с углом в вершине 30° , подавались импульсы напряжения положительной полярности. Второй электрод-плоскость диаметром 100 мм — заземлялся.

Снятие вольтсекундных характеристик жидкостей производилось при их пробое на фронте волны напряжения. Длина фронта волны импульса напряжения изменялась от 0,2 до 10 мксек посредством включения в разрядную цепь индуктивности L и емкости C_p (см. рис. 1). В качестве индуктивности использовалась намотанная на бакелитовую трубу медная проволока диаметром 1 мм (250 витков). Наружный диаметр и длина трубы равнялись 11 см и 200 см соответственно. Применение индуктивности вместо активного сопротивления для изменения длины фронта волны напряжения вызвано тем, что включение индуктивности практически не приводило к уменьшению амплитуды импульса напряжения.

При пробоях воды и эмульсий масла с водой наблюдались утечка заряда и снижение амплитуды напряжения по сравнению с напряжением генератора при отключенном пробойнике. Величина уменьшения амплитуды напряжения зависит от глубины погружения электродов в жидкость. На рис. 2 представлена полученная нами зависимость относительной величины амплитуды импульса напряжения от глубины погружения электродов в речную воду при постоянном расстоянии между электродами, равном 20 мм. Кривая 1 получена для импульсов положительной полярности, кривая 2 — для импульсов отрицательной полярности. В обоих случаях на стержень подавались импульсы напряже-

ния одинаковой величины с амплитудой 210 кВ и длиной фронта 0,6 мксек. Такое напряжение было принято из условия, чтобы пробой жидкости происходил на спадающей части импульса напряжения.

Когда острие только касалось поверхности воды или погружалось в воду на глубину до 50 мм, на поверхности воды у стержня наблюдались скользящие разряды, не доходящие до стенок бачка. С погружением электродов на большие глубины скользящие разряды исчезали, а амплитуда увеличивалась. При погружении плоского электрода на глубину 200 мм амплитуда импульса напряжения составила приблизительно 80% от напряжения генератора импульсов при отключенном пробойнике по сравнению с 40%, когда этот электрод находился на глубине 20 мм.

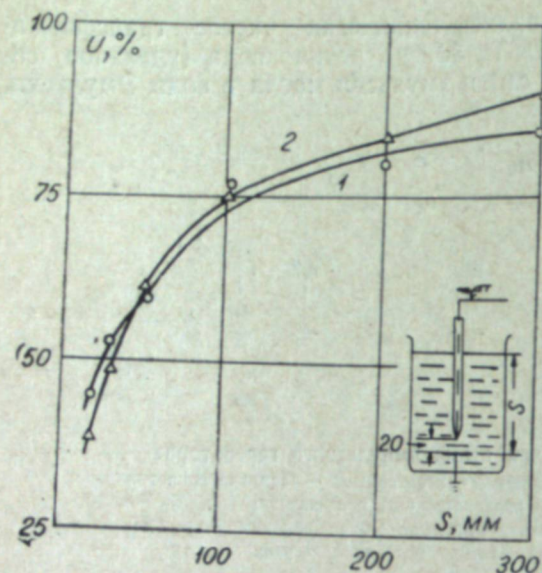


Рис. 2. Зависимость относительной величины амплитуды импульса напряжения от глубины погружения электродов в воду: 1 — импульсом положительной полярности; 2 — импульсом отрицательной полярности.

Изменение полярности импульсов напряжения практически не влияет на снижение амплитуды напряжения (см. рис. 2). Снижение амплитуды импульса не сопровождалось удлинением его фронта. При пробое изолирующих жидкостей (трансформаторное масло) уменьшения амплитуды напряжения в зависимости от глубины погружения электродов не наблюдалось. Установлено, что изолирование стержня по всей его длине, за исключением заостренного конца длиной 3—5 мм, приводило к уменьшению вероятности появления скользящих разрядов по поверхности воды и только незначительно — к повышению амплитуды напряжения по сравнению со случаем неизолированного стержня в тех же условиях. В этих опытах в качестве изолированного стержня использовался кабель типа РК-162 со снятой экранирующей оболочкой.

Таким образом, наиболее эффективной мерой борьбы со снижением напряжения при пробое полупроводящих жидкостей является погружение электродов на глубину 200—300 мм. Описанное явление может применяться в электрогидравлических дробилках [5] и других устройствах, использующих энергию электрических импульсных разрядов для разрушения горных пород и обработки различных материалов.

В связи с этим снятие вольтсекундных характеристик речной воды и эмульсий масла в воде производилось при погружении неизолированных электродов на глубину 200 мм, когда снижение амплитуды напряжений было незначительным (см. рис. 2). Каждая точка вольтсекундных характеристик и кривых, показанных на рис. 2, построена на основании обработки 15 осциллограмм пробоя. Разброс в величинах пробивных напряжений увеличивался с уменьшением длины фронта импульса, но для всех исследованных жидкостей не превышал 20% от среднего значения. При построении вольтсекундных характеристик принята вероятность пробоя $\psi = 50\%$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 приведены вольтсекундные характеристики трансформаторного масла (1), речной воды (2), эмульсий 2% масла с водой (3) и 5% масла с водой (4) при их пробое на импульсах положительной полярности в поле электродов «стержень — плоскость». Расстояние между электродами равнялось 10 мм. Из сравнения вольтсекундных характеристик масла (1) и воды (2) видно, что вольтсекундная характеристика полярной жидкости (воды) идет значительно круче вольтсекундной характеристики неполярной жидкости (трансформаторное масло) и при времени разряда около 0,25 мксек эти кривые пересекаются.

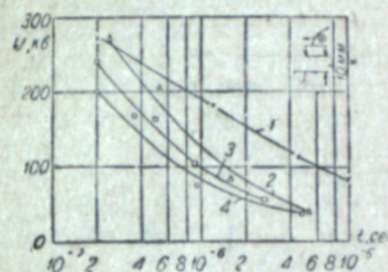


Рис. 3. Вольтсекундные характеристики трансформаторного масла (1), речной воды (2) и эмульсий масла с водой (3, 4).

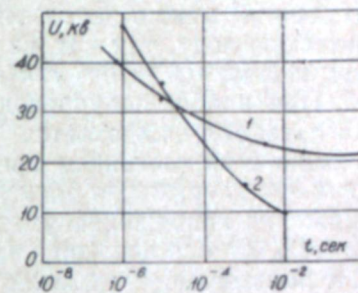


Рис. 4. Вольтсекундные характеристики толуола (1) и нитробензола (2).

Аналогичное явление наблюдалось [10] при снятии зависимости пробивного напряжения от времени (рис. 4) для неполярной (толуол) и полярной (нитробензол) жидкостей при их пробое в однородном поле с расстоянием между сферическими электродами 0,5 мм. При времени воздействия напряжения 10^{-5} сек вольтсекундные характеристики толуола (1) и нитробензола (2) пересекаются. Вольтсекундные характеристики эмульсий масла с водой проходят ниже вольтсекундных характеристик их компонент. (См. рис. 3, кривые 3 и 4).

Увеличение содержания масла в воде от 2 до 5% приводит к снижению пробивного напряжения эмульсии при времени воздействия напряжения меньше 2 мксек. Различие в величинах пробивных напряжений эмульсий и воды возрастает с уменьшением времени воздействия напряжения.

Снижение пробивного напряжения эмульсий по сравнению с пробивным напряжением их компонент можно объяснить насыщением эмульсии воздухом во время ее приготовления, а также большим различием диэлектрических проницаемостей компонент, составляющих эмульсию.

ВЫВОДЫ

1. При импульсном пробое неполярных жидкостей (трансформаторное масло, толуол) наблюдается меньшая зависимость пробивного напряжения от времени его воздействия, чем для полярных жидкостей (вода, нитробензол).
2. С уменьшением экспозиции импульсного напряжения различие в величинах пробивных напряжений, технического чистого трансформаторного масла и речной воды все более уменьшается. При времени воз-

действия напряжения около $0,25 \cdot 10^{-6}$ сек средняя пробивная напряженность речной воды на импульсах положительной полярности между электродами «стержень-плоскость» (расстояние между ними 10 мм) достигает 260 кВ/см и становится равной средней пробивной напряженности технически чистого трансформаторного масла. С дальнейшим уменьшением экспозиции напряжения вольтсекундные характеристики пересекаются.

3. Вольтсекундные характеристики эмульсий масла с водой проходят ниже вольтсекундных характеристик их компонент. Увеличение содержания масла в воде от 2 до 5% снижает пробивное напряжение эмульсии.

4. При разрушении горных пород импульсными электрическими разрядами [6] можно использовать вместо трансформаторного масла техническую воду, так как их пробивные напряжения на импульсах длительностью $0,5 \cdot 10^{-6}$ сек и менее приблизительно одинаковы.

5. При пробое полупроводящих жидкостей (речная вода, эмульсии масла с водой) наблюдается снижение амплитуды напряжения по сравнению с напряжением при отключенном пробойнике. С увеличением глубины погружения электродов в жидкость относительная величина снижения напряжения уменьшается и на глубине 200 мм не превосходит 15% от напряжения при отключенном пробойнике. Это может быть использовано в практике разрушения горных пород электрическими импульсными разрядами.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
12/ХІІ 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев, Н. А. Приходько, Электрический пробой диэлектриков в неоднородном поле. Тр. СФТИ, т. 4, стр. 112. Томск, 1936.
2. А. А. Воробьев, А. Ф. Калганов, К вопросу о связи электрической прочности жидких диэлектриков с их физико-химическими свойствами. Журн. физ. хим., т. 29, вып. 11, стр. 1942, 1955.
3. Ф. Ф. Волькенштейн. Пробой жидких диэлектриков. ОНТИ. М.—Л., 1934.
4. В. С. Комельков, Развитие импульсного разряда в жидкости. Журн. техн. физ., т. 31, вып. 8, стр. 946, 1961.
5. А. А. Воробьев, Электрические разряды обрабатывают материалы, разрушают твердые тела. Изв. Томск. политехн. ин-та, т. 95, стр. 331, 1958.
6. Л. А. Юткин, Электрогидравлический эффект. Машгиз, 1955.
7. Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко, Физика искрового способа обработки материалов. Ред. изд. отдел ЦБТИ. М., 1946.
8. Е. Я. Рябкова, Электропроводность и импульсные характеристики грунтов. Изв. вузов СССР, Энергетика, № 3, 1958.
9. А. А. Воробьев, Техника высоких напряжений. Госэнергоиздат, 1945.
10. Г. И. Сканави, Физика диэлектриков. Физматгиз, М., 1958.

О. Л. БАНДМАН,

ПРИЗНАКИ ФИЗИЧЕСКОЙ ОСУЩЕСТВИМОСТИ МАТРИЦ ПРОВОДИМОСТИ RC-ЦЕПЕЙ

Существующие в настоящее время методы синтеза электрических схем построены так, что структура синтезируемой схемы заранее определяется самим методом. Математические преобразования, которым подвергается заданная функция в процессе синтеза, направлены на то, чтобы привести ее к виду, соответствующему заранее известным функциям сопротивления или проводимости определенных схемных структур. Вследствие такого подхода к решению задачи синтеза электрические схемы оказываются зачастую неоправданно сложными по структуре и содержат слишком большое количество элементов.

Для нахождения наиболее простых конфигураций схем необходимо строить процесс синтеза таким образом, чтобы заданная внешняя функция приводилась к параметрам, не накладывающим ограничений на структуру схемы. Такими параметрами являются матрицы проводимости и сопротивления. Поэтому в настоящее время особый интерес проявляется к методам синтеза именно по этим параметрам. Особенно важное значение приобретают эти методы в связи с тем, что они открывают большие возможности в области синтеза электронных схем.

Одной из основных задач синтеза является определение признаков физической осуществимости. Поиски эффективных методов синтеза по матричным параметрам пробудили интерес к определению необходимых и достаточных условий физической осуществимости матриц схемы [1—4]. Настоящая работа посвящена систематическому рассмотрению этого вопроса применительно к синтезу RC-цепей.

МАТРИЦА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ

Как известно [5], для каждой схемы существует множество систем независимых узловых пар. Переход от старой системы к новой осуществляется при помощи матрицы преобразования координат C , связывающей узловые напряжения этих систем следующим соотношением:

$$U = CU' \quad (1)$$

Матрица преобразования легко составляется при рассмотрении взаимного расположения узловых пар [5] и имеет элементы, равные 1, —1 или 0. Так как системы узловых пар являются независимыми, то $\det C \neq 0$ и матрица C — неособенная. Следовательно, справедливо и обратное преобразование

$$U' = C^{-1}U = C'U, \quad (2)$$

где C' — матрица, обратная C , тоже представляет собой матрицу преобразования, и поэтому элементами ее являются только 1, —1 или 0.

Каждый элемент матрицы C' равен отношению алгебраического дополнения $(n-1)$ -го порядка матрицы C к ее определителю

$$c_{ki} = \frac{\Delta_{ki}}{\det C} \quad (3)$$

Такие отношения могут быть равны 1, -1 или 0 только в том случае, если $\det C = \pm 1$, а все миноры $(n-1)$ -го порядка равны 1, -1 или 0. Более того, можно показать, что все миноры матрицы могут быть равными только 1, -1 или 0 [2]. Действительно, пусть какой-либо минор p -го порядка $\Delta^{(p)} \neq 0$. Предположим, что он занимает левый верхний угол матрицы C . Это предположение не нарушает общего характера доказательства, так как соответствующим изменением нумерации узловых пар мы всегда можем заставить его занять это положение. Закоротив последние $(n-p)$ узловых пар исходной системы, мы получим новую схему с числом узлов $p+1$. Уравнение (2) для новой схемы примет вид

$$U_1 = C_1 U_1', \quad (4)$$

где U_1' — матрица порядка $(p \times 1)$, элементами которой являются первые p узловых напряжений U' ;
 C_1 — матрица, состоящая из p столбцов матрицы C ; первые p строк C_1 образуют $\Delta^{(p)}$;
 U_1 — матрица узловых напряжений, соответствующих новой системе узловых пар после закорачивания.

Очевидно, некоторые из узловых пар новой системы тоже окажутся закороченными, а соответствующие им элементы U_1 станут равными 0. Однако это не могут быть первые p узловых пар, так как элементы соответствующей строки C_1 были бы равными 0, что противоречит предположению о том, что $\Delta^{(p)} \neq 0$. Эти узловые пары не могут составлять замкнутых контуров, так как это означало бы их взаимозависимость, т. е. тоже нарушало бы предположение, что $\Delta^{(p)} \neq 0$. Таким образом, $\Delta^{(p)}$ соответствует матрице преобразования между двумя независимыми системами координат схемы с $(p+1)$ узлом. Как уже было показано, определитель такой матрицы должен быть равен ± 1 . Из этого вытекает важное свойство матриц преобразования: все миноры этих матриц должны быть равны 1, -1 или 0. Матрицы, обладающие таким свойством, называются одномодульными [2].

Справедливо и обратное, любая неособенная одномодульная матрица порядка $(n \times n)$ является матрицей преобразования координат схемы с $(n+1)$ узлом. Действительно, так как каждый минор одномодульной матрицы равен 1, -1 или 0, а определитель ± 1 , то матрица, обратная неособенной одномодульной, тоже одномодульная. Следовательно, существуют две столбцовых матрицы U_1 и U , связанных соотношениями:

$$U_1 = CU; U = C^{-1}U_1. \quad (5)$$

Матрица C является матрицей преобразования координат, так как обе матрицы соответствуют независимым системам узловых пар, причем каждая узловая пара одной системы образует замкнутый контур с одной или несколькими узловыми парами другой.

Матрица сцепления

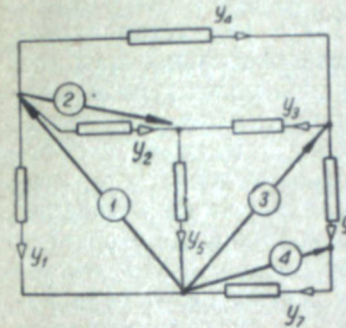
Для каждой системы независимых узловых пар можно составить матрицу, полностью определяющую геометрическую конфигурацию схемы. Строки этой матрицы соответствуют узловым парам, а столбцы — ветвям схемы, так что порядок матрицы равен $n \times l$.

Элементами матрицы являются:

- $a_{ki} = 1$, если i -я ветвь сцеплена с k -й узловой парой и в образованном ими контуре они направлены одинаково;
- $a_{ki} = -1$, если i -я ветвь сцеплена с k -й узловой парой и в образованном ими контуре они направлены противоположно;
- $a_{ki} = 0$, если i -я ветвь не сцеплена с k -й узловой парой.

Так как построение матрицы связано с выявлением сцепленных с узловыми парами ветвей схемы, то наиболее подходящим названием для нее будет «матрица сцепления»*.

Матрица сцепления для схемы рис. 1 имеет вид



$$A = \begin{array}{c|ccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline 1 & 1 & & -1 & 1 & 1 & & \\ 2 & & -1 & -1 & & 1 & & \\ 3 & & & 1 & -1 & & 1 & \\ 4 & & & & & & -1 & 1 \end{array}$$

Рис. 1.

Матрица сцепления связывает напряжения на l ветвях схемы с напряжениями на n узловых парах следующим соотношением:

$$U' = A_t U, \quad (6)$$

где A_t — транспонированная матрица сцепления;

U' — матрица $(l \times 1)$ напряжений на ветвях;

U — матрица $(n \times 1)$ напряжений на узловых парах.

При известной матрице сцепления легко подсчитывается матрица проводимости [6]

$$Y = AY' A_n \quad (7)$$

где Y — диагональная матрица $(l \times l)$ с элементами, равными проводимостям ветвей схемы.

Важным свойством матриц сцепления является их принадлежность к классу одномодульных матриц. Это положение будет доказано, если показать, что матрица A составляет подматрицу матрицы преобразования. Для этого рассмотрим схему рис. 2, а. Выберем в ней систему независимых узловых пар. Все ветви схемы, не совпадающие с узловыми парами, разделим на две последовательно соединенные части, образовав таким образом еще $(l-n)$ узлов. Выделим в этой новой схеме две системы независимых узловых пар: систему, состоящую из n выбранных в первоначальной схеме узловых пар плюс $(l-n)$ узловых пар, совпадающих с одной из двух частей разделенных пополам ветвей (рис. 2, б), и систему, состоящую из тех же n первоначальных плюс $(l-n)$ узловых пар, совпадающих с другой половиной разделенных ветвей (рис. 2, в). Матрицы узловых напряжений, соответствующих этим двум системам, связаны следующим соотношением:

$$U' = CU'', \quad (8)$$

* В иностранной литературе матрица сцепления называется «cut-set matrix» или «cut-set schedules».

где C — матрица преобразования порядка $(l \times l)$. Разделим матрицу C на две прямоугольные подматрицы

$$C = [C_1 | C_2], \quad (9)$$

где C_1 и C_2 имеют порядок $(l \times n)$ и $[l \times (l-n)]$ соответственно.

Закоротив теперь последние $(l-n)$ узлов пар второй системы, приходим к первоначальной схеме, и уравнение (8) примет вид

$$U' = [C_1 | C_2] \begin{bmatrix} U \\ 0 \end{bmatrix} = C_1 U. \quad (10)$$

Сравнивая (10) с (6), устанавливаем, что $C_1 = A_t$, следовательно, матрица сцепления A , являясь подматрицей матрицы преобразования, обладает свойствами одномодульных матриц. Это составляет необходимое условие того, чтобы матрица A была матрицей сцепления какой-либо схемы в какой-либо системе координат. Можно показать, что это условие является и достаточным, если хотя бы один минор n -го порядка отличается от нуля. Действительно, любую одномодульную матрицу порядка $(l \times n)$, где $l > n$, у которой хотя бы один минор n -го порядка отличается от нуля, можно дополнить $(l-n)$ столбцами так, чтобы образовать неособенную матрицу преобразования порядка $(l \times l)$:

$$C = [A_t | A_1]. \quad (11)$$

Итак, существует схема с $(l+1)$ узлом, для которой C есть матрица преобразования из одной системы координат в другую. Закоротив последние $(l-n)$ узловых пар, получим схему, которая соответствует матрице сцепления, так как

$$U' = [A_t | A_1] \begin{bmatrix} U \\ 0 \end{bmatrix} = A_t U. \quad (12)$$

Матрицы сцепления считаются эквивалентными, если они отличаются только порядком строк и столбцов, т. е. соответствуют одной и той же схеме, независимо от нумерации ветвей и узловых пар. К эквивалентным матрицам следует причислить также матрицы, отличающиеся только столбцами, уже встречавшимися в тех же матрицах. Эти столбцы можно совсем не учитывать, так как два одинаковых столбца соответствуют двум параллельным элементам, которые всегда можно заменить одним с суммарной проводимостью.

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ОСУЩЕСТВИМОСТИ МАТРИЦЫ ПРОВОДИМОСТИ

Если в RC -схеме ветвью считать параллельное соединение R и C , а последовательное их соединение разделять узлами, то каждый элемент матрицы Y примет вид

$$y_{ki} = p c_{ki} + g_{ki}, \quad (13)$$

а вся матрица Y выразится в виде суммы двух матриц

$$Y = pC + G. \quad (14)$$

Здесь p — комплексная частота, а C и G — матрицы, соответствующие схемам, состоящим из элементов только одного типа. Если обе матрицы основаны на одной и той же системе независимых узловых пар, то схема всей цепи может рассматриваться как параллельное соединение этих схем, получающееся совмещением их одноименных узлов.

Для пассивных обратимых цепей матрицы C и G обладают одинаковыми свойствами. Поэтому можно рассматривать физическую осуществимость матрицы цепей с однотипными элементами, называя их для краткости B -матрицами и подразумевая под ними любую из составных частей Y .

Согласно определению пассивных цепей [7], матрицы проводимости обладают положительно-определенными и положительно-полуопределенными квадратичными формами. Для матриц с однотипными элементами квадратичная форма должна быть положительно-определенной, следовательно, все главные миноры матрицы и ее определитель должны быть положительными*. Более того, можно показать, что главный минор по абсолютной величине больше любого другого минора, составленного из элементов той же строки. Матрицы, обладающие этим свойством, называются парамаунтными [2].

Докажем, что парамаунтность является необходимым условием того, чтобы матрица B n -го порядка была матрицей проводимости схемы с $(n+1)$ узлом. Начнем с миноров первого порядка. Представим матрицу B в виде

$$B = A B_d A_t, \quad (15)$$

где B_d — диагональная матрица l -го порядка ($l > n$) с положительными элементами, представляющая собой проводимости ветвей схемы. Элементы матрицы B могут быть записаны в виде сумм следующим образом:

$$b_{kk} = a_{k1}^2 b_1 + a_{k2}^2 b_2 + \dots + a_{kl}^2 b_l = \sum_{j=1}^l a_{kj}^2 b_j, \quad (16)$$

$$b_{ki} = a_{k1} a_{i1} b_1 + a_{k2} a_{i2} b_2 + \dots + a_{kl} a_{il} b_l = \sum_{j=1}^l a_{kj} a_{ij} b_j. \quad (17)$$

Если $a_{kj} \neq 0$, то коэффициенты при b_j в равенстве (16) равны 1, в то время как коэффициенты при b_j в (17) могут быть 1, -1 или 0. Поэтому сумма (16) по абсолютной величине всегда не меньше суммы (17):

$$b_{kk} > |b_{ki}|. \quad (18)$$

Для доказательства подобного неравенства для миноров порядка выше первого каждую квадратную подматрицу p -го порядка, состоящую из элементов строк i_1, i_2, \dots, i_p и столбцов k_1, k_2, \dots, k_p , представим в виде произведения

$$B \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ k_1 k_2 \dots k_p \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ 1 2 \dots n \end{pmatrix} B_d A_t \begin{pmatrix} 1 2 \dots n \\ k_1 k_2 \dots k_p \end{pmatrix}, \quad (19)$$

* Если матрица соответствует схеме, состоящей из отдельных несвязанных частей, то ее определитель может быть равен 0. В этих случаях следует рассматривать матрицы каждой части отдельно.

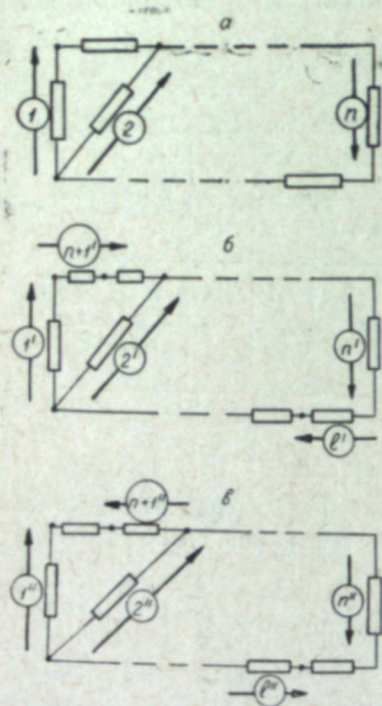


Рис. 2.

где $A \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ 1 2 \dots n \end{pmatrix}$ — прямоугольная матрица, состоящая из строк $i_1 i_2 \dots i_p$ матрицы A ;
 $A_t \begin{pmatrix} 1 2 \dots n \\ k_1 k_2 \dots k_p \end{pmatrix}$ — прямоугольная матрица, состоящая из столбцов $k_1 k_2 \dots k_p$ матрицы A_t .

Применим к выражению (19) теорему Бинэ—Коши, выражающую минор матрицы-произведения через миноры матриц-сомножителей,

$$\Delta_B \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ k_1 k_2 \dots k_p \end{pmatrix} = \sum_{1 < j_1 < j_2 < \dots < j_p < n} \Delta_A \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ j_1 j_2 \dots j_p \end{pmatrix} \Delta_{A_t} \begin{pmatrix} j_1 j_2 \dots j_p \\ k_1 k_2 \dots k_p \end{pmatrix} \Delta_{B_d} \begin{pmatrix} j_1 j_2 \dots j_p \\ j_1 j_2 \dots j_p \end{pmatrix}, \quad (20)$$

где $j_1 j_2 \dots j_p$ — одно из сочетаний p индексов из n .

Воспользовавшись теоремой о том, что определитель произведения двух матриц равен произведению определителей, и учтя свойство неизменяемости определителя при транспонировании матрицы, получим формулу для главных миноров в виде

$$\Delta_B \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ i_1 i_2 \dots i_p \end{pmatrix} = \sum_{1 < j_1 < j_2 < \dots < j_p < n} \Delta_A^2 \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ j_1 j_2 \dots j_p \end{pmatrix} \Delta_{B_d} \begin{pmatrix} j_1 j_2 \dots j_p \\ j_1 j_2 \dots j_p \end{pmatrix}, \quad (21)$$

а для неглавных миноров в виде

$$\Delta_B \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ k_1 k_2 \dots k_p \end{pmatrix} = \sum_{1 < j_1 < j_2 < \dots < j_p < n} \Delta_A \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ j_1 j_2 \dots j_p \end{pmatrix} \Delta_A \begin{pmatrix} k_1 k_2 \dots k_p \\ j_1 j_2 \dots j_p \end{pmatrix} \Delta_{B_d} \begin{pmatrix} j_1 j_2 \dots j_p \\ j_1 j_2 \dots j_p \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Поскольку A — одномодульная матрица, то в формуле (21) все коэффициенты при Δ_{B_d} равны 1, если $\Delta_A \neq 0$, а в формуле (22) эти коэффициенты могут быть равными 1, -1 или 0. Следовательно,

$$\Delta_B \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ i_1 i_2 \dots i_p \end{pmatrix} > \Delta_B \begin{pmatrix} i_1 i_2 \dots i_p \\ k_1 k_2 \dots k_p \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Мы показали, что любая B -матрица физической осуществимой цепи, поскольку она может быть представлена в виде $AB_d A_t$, обязательно является парамаунтной матрицей. Обратное неверно; не всякая парамаунтная матрица может быть представлена в виде $AB_d A_t$, следовательно, она не обязательно осуществима. Таким образом, парамаунтность есть только необходимое, но не достаточное условие физической осуществимости матрицы B .

ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ОСУЩЕСТВИМОСТИ МАТРИЦЫ ПРОВОДИМОСТИ

Достаточным условием физической осуществимости можно считать возможность разложения B -матрицы на произведение вида $AB_d A_t$, где A — одномодульная матрица и B_d — диагональная матрица с положительными элементами. Достаточно простого способа проверки возможности такого разложения не существует. В каждом случае необходимо выполнить это разложение и убедиться, что элементы B_d положительны, а A принадлежит к классу одномодульных матриц [1].

Чтобы показать, как производится разложение матрицы, рассмотрим каждый ее элемент:

$$b_{ki} = a_{k1} a_{i1} b_1 + a_{k2} a_{i2} b_2 + \dots + a_{kp} a_{ip} b_p + \dots + a_{kq} a_{iq} b_q + \dots + a_{kl} a_{il} b_l = \sum_{j=1}^n a_{kj} a_{ij} b_j. \quad (24)$$

Все отличные от нуля слагаемые (24) имеют одинаковые знаки, так как если бы какие-либо два из них, допустим p -й и q -й, имели разные знаки, то было бы справедливо равенство $a_{kp} a_{iq} = -a_{kq} a_{ip}$, несовместимое со свойствами одномодульных матриц. Действительно, после умножения обоих его частей на $a_{iq} a_{ip}$ с учетом того, что $a_{ip}^2 = a_{iq}^2 = 1$, получим

$$a_{kq} a_{ip} = -a_{kp} a_{iq}, \quad (25)$$

это означает, что минор, составленный из элементов k -й и i -й строк и p -го и q -го столбцов, по абсолютной величине равен двум.

Покажем еще, что минимальный по абсолютной величине элемент матрицы B , если он не равен 0, обязательно равен одному из элементов B_d . Это станет очевидным, если показать, что в сумме (24) только одно произведение $a_{pj} a_{qj}$ отлично от нуля. Предположим обратное. Пусть минимальный элемент b_{pq} равен сумме хотя бы двух диагональных элементов:

$$b_{pq} = \pm (b_h + b_m). \quad (26)$$

Тогда вследствие одинаковых знаков у обоих слагаемых

$$a_{ph} a_{qh} = a_{pm} a_{qm}. \quad (27)$$

Следовательно, в матрице A имеются ненулевые элементы в p -й и q -й строках, h -м и q -м столбцах.

		
p	...	± 1	...	± 1	...
		
q	...	± 1	...	± 1	...
		
		h		m	

Так как одинаковых столбцов в матрице A не должно быть, то в одном из них обязательно есть еще хотя бы один нулевой элемент. Пусть он находится в s -й строке и h -м столбце, т. е. $a_{sh} = \pm 1$.

s -я строка не может иметь еще два ненулевых элемента в столбцах d и f , в одном из которых есть ± 1 в p -й строке, а в другом — в q -й, так как тогда минор, составленный из элементов строк p, q, s и столбцов m, d, f , будет равен ± 2 (см. стр. 34).

Следовательно, или

$$a_{pd} a_{sd} \neq a_{sf} a_{qf}, \quad (28)$$

или

$$a_{pd} a_{sd} = a_{sf} a_{qf} = 0. \quad (29)$$

В случае (28), если $a_{pd} a_{sd} = \pm 1$, а $a_{sf} a_{qf} = 0$, то $b_{qs} = \pm b_h$; если же $a_{pd} a_{sd} = 0$, а $a_{sf} a_{qf} = \pm 1$, то $b_{ps} = \pm b_h$. В случае (29) $b_{sq} = b_{sp} = \pm b_h$.

Таким образом, если $b_{pq} = \pm(b_h + b_m)$, то обязательно существует элемент, например

$$b_{sp} = \pm b_h \quad (30)$$

Но тогда $b_{sp} \leq |b_{pq}|$, что противоречит условию о том, что b_{pq} — минимальный элемент B . Этим мы показали, что минимальный недиагональный элемент b_{pq} всегда равен одному из элементов B_d [1].

	h	m	d	f
p
	± 1	± 1	± 1	
q
	± 1	± 1	± 1	± 1
s	± 1	± 1

Разложение матрицы B производится следующим образом.

1. Первый диагональный элемент матрицы B_d берется равным абсолютному значению минимального недиагонального элемента B :

$$b_1 = |b_{pq}| \quad (31)$$

2. Если $b_{pq} < 0$, то для определения первого столбца матрицы удобно изменить знаки у всех элементов p -го или q -го столбца. Это упрощает нахождение первого столбца A тем, что позволяет считать $a_{p1} = a_{q1} = 1$, так как, согласно (24), $b_{pq} = a_{p1} a_{q1} b_1$.

3. Последовательно определяются все элементы первого столбца. Каждый k -й элемент находится сравнением знаков k -х элементов q -го и p -го столбцов B :

$$\begin{aligned} b_{kp} &= a_{k1} a_{p1} b_1 + a_{k2} a_{p2} b_2 + \dots + a_{kn} a_{pn} b_n; \\ b_{kq} &= a_{k1} a_{q1} b_1 + a_{k2} a_{q2} b_2 + \dots + a_{kn} a_{qn} b_n. \end{aligned} \quad (32)$$

Первые слагаемые обеих сумм равны между собой, а их знак определяется знаком a_{k1} , который имеет тот же знак, что и сумма. Поэтому

если $b_{kp} > 0$ и $b_{kq} > 0$, то $a_{k1} = 1$;

если $b_{kp} < 0$ и $b_{kq} < 0$, то $a_{k1} = -1$;

если $b_{kp} > 0$ и $b_{kq} < 0$, или один из них равен нулю, то $a_{k1} = 0$.

4. Образуется новая матрица B' , которая получается исключением из B элемента b_1

$$B' = B - A_1 - b_1 A_{1t}, \quad (33)$$

где A_1 — матрица $(n \times 1)$, состоящая из первого столбца A .

Исключение элемента b_1 соответствует размыканию ветви с проводимостью b_1 и поэтому не повлияет на элементы всех других столбцов A и B_d , кроме первого.

5. С матрицей B' производятся все операции, указанные в пунк-

тах 1—4, до тех пор, пока в $B^{(i)}$ не останутся одни диагональные элементы.

6. Все диагональные элементы $B^{(i)}$ являются элементами B_d , и им соответствуют столбцы A с одной единицей в соответствующей строке.

Пример:

$$B = \begin{vmatrix} 5 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 4 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & 9 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 8 \end{vmatrix}$$

Минимальный недиагональный элемент в этой матрице $b_{21} = -1$. Так как $b_{21} < 0$, то для определения A_1 следует изменить знаки элементов первого столбца B . Сравнение их со знаками элементов второго столбца B дает

$$A_1 = [-1 \ 1 \ 0 \ 0]_t.$$

По формуле (33)

$$\begin{aligned} B' &= B - \begin{vmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \cdot [-1 \ 1 \ 0 \ 0] = \begin{vmatrix} 5 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 4 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & 9 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 8 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & 9 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 8 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

В этой матрице минимальный недиагональный элемент $b'_{32} = 1$, следовательно, $b_2 = 1$. Сравнение знаков 2-го и 3-го столбцов B дает

$$A_2 = [0 \ 1 \ 1 \ 0]_t.$$

Далее из B' исключается элемент b_2 :

$$B'' = B' - A_2 b_2 A_{2t} = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 8 \end{vmatrix}$$

Подобным же образом определяются:

$$b_3 = b'_{42} = -2;$$

$$A_3 = [0 \ -1 \ 0 \ 1];$$

$$B''' = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 \end{vmatrix}$$

В матрице B''' остались только диагональные элементы, поэтому остальные столбцы A будут иметь только по одной единице:

$$A_4 = [1 \ 0 \ 0 \ 0];$$

$$A_5 = [0 \ 0 \ 1 \ 0];$$

$$A_6 = [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Таким образом, разложение выполнено:

$$A = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; B = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \end{vmatrix}$$

Два разложения одной и той же матрицы могут отличаться только порядком столбцов A и элементов B . Как уже было показано, эти различия не изменяют соответствующей схемы, они только отражают изменение нумерации ветвей. Поэтому разложение матрицы B на произведение $AB_d A_t$ можно считать в этом смысле единственным.

УСЛОВИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ОСУЩЕСТВИМОСТИ МАТРИЦ ПРОВОДИМОСТИ В КАНОНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Одной из наиболее употребительных систем координат является так называемая каноническая система, в которой все независимые узловые пары имеют один общий узел, называемый базисным, и направлены от этого узла [5]. Поскольку каждая узловая пара имеет только нижнюю область, а верхняя вырождается в узел, то значительно упрощается структура матриц A и B , облегчается проверка их физической осуществимости и построение схемы.

Каждый элемент схемы может быть сцепленным или с двумя узлами парами, если он соединяет их верхние узлы, или с одной, если он с ней совпадает. Следовательно, в матрице A каждый столбец имеет или два ненулевых элемента (1 и -1), или только один, который всегда можно считать равным 1. Для схемы рис. 3 матрица A имеет вид

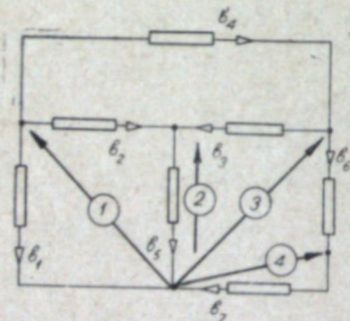


Рис. 3.

$$A = \begin{array}{c|ccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline 1 & 1 & 1 & & 1 & & & \\ 2 & & -1 & -1 & & 1 & & \\ 3 & & & 1 & -1 & & 1 & \\ 4 & & & & & & -1 & 1 \end{array}$$

Если схема представляет собой полный многоугольник, т. е. каждый узел соединен ветвью с каждым другим, то матрица A будет иметь n столбцов с одним ненулевым элементом и C_n^2 столбцов с двумя ненулевыми элементами разных знаков в строках, соответствующих всем сочетаниям из n по 2. Любая матрица, составленная из некоторого количества таких столбцов, соответствует схеме неполного многоугольника, следовательно, физически осуществима в канонической системе координат*. Таким образом, принадлежность матрицы A к типу одно-

* Схема окажется несвязанной, если в матрице A имеются строки с числом ненулевых элементов меньше двух.

модульных матриц, состоящих из столбцов, содержащих либо один, либо два ненулевых элемента с разными знаками, можно считать необходимым и достаточным условием ее физической осуществимости в канонической системе координат.

Все диагональные элементы матрицы B в канонической системе координат положительны и равны сумме проводимостей всех ветвей, сходящихся в верхнем узле соответствующей узловой пары. Все недиагональные элементы матрицы B неположительны и равны проводимости только одной ветви, соединяющей верхние узлы двух узловых пар. Таким образом, недиагональные элементы каждой строки являются слагаемыми суммы, составляющей ее диагональный элемент. Следовательно, имеет место неравенство

$$b_{kk} = \left| \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^n b_{kl} \right|. \quad (34)$$

Симметричные матрицы, у которых соблюдается это условие, называются доминантными. Применение приведенного выше разложения матриц на произведение $AB_d A_t$ к доминантным матрицам с неположительными недиагональными элементами показывает, что все первые столбцы матрицы A имеют по два ненулевых элемента разных знаков. Это легко установить, так как в каждом столбце B имеется только по одному положительному элементу в двух разных строках. Вследствие доминантности матрицы B все элементы диагональной матрицы, оставшиеся после последовательного исключения из B недиагональных элементов, обязательно положительны. Следовательно, матрица B разлагается на произведение $AB_d A_t$ так, что A удовлетворяет условиям физической осуществимости в канонической системе координат, а Bd имеет положительные элементы. Этим доказывается, что доминантность матрицы B при неположительных недиагональных элементах составляет необходимое и достаточное условие ее физической осуществимости в канонической системе координат.

УСЛОВИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ОСУЩЕСТВИМОСТИ МАТРИЦЫ ПРОВОДИМОСТИ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

В синтезе электрических цепей представляет интерес еще один частный случай систем координат, когда узловые пары расположены последовательно одна за другой, образуя одну ломаную линию (рис. 4), и направлены все в одну сторону. Удобно нумеровать узловые пары в порядке их расположения так, чтобы верхний узел каждой k -й пары совпадал с нижним узлом $(k+1)$ -й.

Так как все узловые пары в любом замкнутом контуре направлены одинаково, то все элементы матрицы B положительны. По этой причине элементы каждого столбца A имеют одинаковые знаки, что позволяет нам считать их положительными.

Для схемы рис. 4 матрица A имеет вид (см. стр. 38).

Ненулевые элементы, если их больше одного, в каждом столбце матрицы A могут располагаться только подряд, так как если какой-либо элемент сцеплен с двумя не рядом лежащими узловыми парами, то он обязательно сцеплен и с промежуточными тоже. Если схема представляет собой полный многоугольник, то матрица A будет состоять из

всех возможных вариантов столбцов с расположенными подряд элементами. Следовательно, матрица, составленная из любого сочетания таких столбцов, физически осуществима в последовательной системе координат. Таким образом, необходимым и достаточным условием физической осуществимости матрицы A в последовательной системе координат является возможность конечным числом перестановок привести ее к виду, когда ненулевые элементы в каждом ее столбце имеют одинаковый знак и расположены подряд.

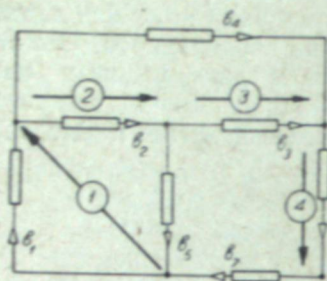


Рис. 4.

$$A = \begin{array}{c|ccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline 1 & 1 & & & & 1 & & 1 \\ 2 & & 1 & & 1 & 1 & & 1 \\ 3 & & & 1 & 1 & & & 1 \\ 4 & & & & & & 1 & 1 \end{array}$$

В матрице с таким расположением элементов любая k -я строка имеет больше ненулевых элементов в общих столбцах с $(k \pm i)$ -й, чем с $(k \pm (i+1))$ -й. Это можно выразить следующим неравенством:

$$\sum_{j=1}^l a_{kj} a_{(k \pm i)j} \geq \sum_{j=1}^l a_{kj} a_{[k \pm (i+1)]j}. \quad (35)$$

Сравнивая (35) с (24), можно получить соотношения между элементами матрицы B .

$$b_{k(k \pm i)} \geq b_{k[k \pm (i+1)]}. \quad (36)$$

Применим приведенное выше разложение матриц на произведение $AB_d A_t$ к матрицам с неотрицательными элементами, удовлетворяющим условию (36). Условие (36) показывает, что при принятой нами нумерации узлов пар минимальными элементами B будут b_{1n} и b_{m1} . Если они равны нулю, то первым элементом B_d следует выбрать стоящий рядом с нулем элемент n -й строки B . Пусть это будет элемент b_{ni} . Так как знаки всех элементов одинаковы, то нули в первом столбце A могут получаться только там, где имеются нули в i -м или n -м столбцах B . Но вследствие (36) нулевые элементы могут стоять только в нескольких первых или последних строках каждого столбца. Таким образом, все единицы первого столбца будут расположены подряд. Так как условие (36) не нарушается при исключении b_{ni} , то все следующие столбцы матрицы A тоже будут удовлетворять этому условию и диагональные элементы всегда будут оставаться положительными.

Итак, неравенство (36) является необходимым и достаточным условием физической осуществимости симметричной матрицы с неотрицательными элементами в последовательной системе координат.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Cederbaum, Applications of Matrix Algebra to Network theory. IRE Transactions, CT-6, May, 1959.
2. I. Cederbaum, Conditions for the Impedance and Admittance Matrices of n -part without Ideal Transformers. Proceedings of the IEE, part C, January, 1958, Monograph 276.
3. E. A. Cruillemin, On the Analysis and Synthesis of Single-Element-Kind Networks. IRE Transactions, CT-7, September, 1960.
4. Z. Winter, A Note on Matrix Factorisation. IRE Transactions, CT-8, N 1, 1961.
5. В. П. Сигорский, Методы анализа электрических схем с многополюсными элементами. Киев, 1958.
6. Г. Крон, Применение тензорного анализа в электротехнике. ГЭИ, 1955.
7. W. Cauer, Synthesis of Linear Communication Networks. N. Y., 1958.

Н. Д. БИРЮКОВ

О МЕХАНИЗМЕ ГИДРАТАЦИИ И СТРОЕНИИ АКВО-ИОНОВ*

ВЫЧИСЛЕНИЕ E_0 ИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Постулат об электронейтральности гидратированного атома, выдвинутый Л. Полингом [1, 2], имеет, по нашему мнению, исключительно важное значение для пересмотра и уточнения представлений о механизме гидратации ионов, распределении зарядов по их поверхности и электропроводности.

Взгляды Л. Полинга на механизм гидратации были несколько уточнены в работе А. Ф. Капустинского [3], рассматривающего гидратацию как «процесс динамического замещения молекул воды в ее структуре на растворенные катионы или же анионы». В. А. Михайлов, С. И. Дракин в ряде работ [4—7] высказали представления, в некоторой части аналогичные представлениям Л. Полинга, и сделали весьма важный шаг в направлении истолкования механизма сольватации ионов. Авторы впервые показали, что механизм сольватации ионов в различных растворителях идентичен механизму гидратации и заключается в том, что металлический ион оттягивает на свои вакантные орбиты по паре электронов от кислорода или азота молекул растворителя, координированных вокруг металлического иона. Расчеты энергии ионизации атомов в растворе сделаны В. А. Михайловым и С. И. Дракиным при допущении, что заряд металлического иона нейтрализуется не полностью и частично сохраняется.

Нормальные потенциалы металлов E_0 могут быть вычислены из энергий решетки S_m [8], ионизационного потенциала ΣI_v и энергии гидратации Γ по уравнению:

$$E_0 = \frac{-104n + (S_m + \Sigma I_v - \Gamma)}{23\,060n}, \quad (1)$$

где n — валентность, число 104 — энергия образования протона в воде в ккал.

Разность

$$\Sigma I_v - \Gamma = I_w \quad (2)$$

отвечает энергии ионизации атома в одном растворе. Величина I_w является наиболее важной при решении ряда электрохимических вопросов.

К вычислению величины I_w можно подойти с двух сторон. Во-первых, можно вычислять энергию гидратации теоретически, как это было сделано Д. Берналлом и Р. Фаулером и др. [9—12], или определять экспериментально, а затем по уравнению (2) находить значение I_w .

* Печатается в порядке обсуждения (Ред.).

Теоретические расчеты энергии гидратации не привели к удовлетворительному результату, и расхождения между рассчитанными и экспериментальными значениями Γ в работах К. П. Мищенко и А. М. Сухотина [13—17], признанных наиболее точными, составляют до 12% [18]. Поэтому величины I_w , найденные из теоретических вычислений Γ и экспериментальных величин ΣI_v , недостаточно точны.

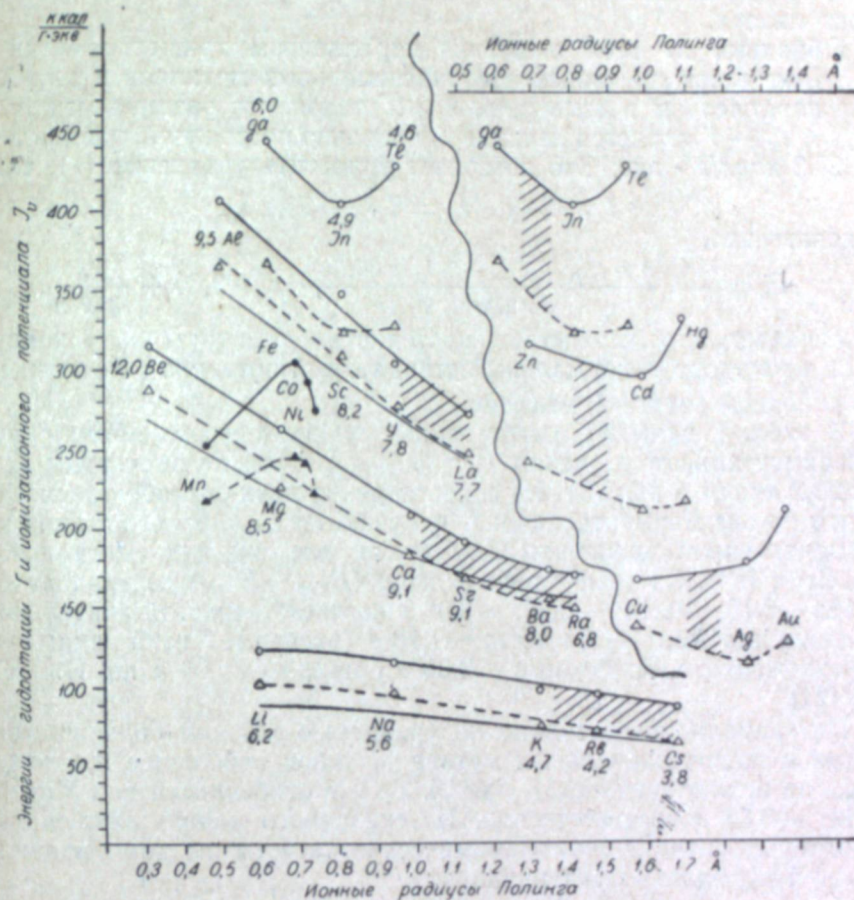


Рис. 1. Зависимость энергий ионизационного потенциала I_v и химической энергии гидратации Γ от размеров катиона металлов для подгрупп a и b периодической системы.

Кружками обозначены точки I_v , треугольниками — точки Γ .

Другой путь был избран в работах Ли и Тая [19, 20], а затем в работах С. И. Дракина, В. А. Михайлова [4—7]. Последние теоретически рассчитали величины I_w^* а следовательно, и энергии гидратации Γ .

Роль и значение величины I_w целесообразнее всего оценить, сопоставляя величины ΣI_v и Γ как функцию ионных радиусов Л. Полинга (рис. 1). На рис. 1 представлены кривые значений ионизационного потенциала I_v (сплошные линии) и гидратации катионов $\Gamma_{\text{экв}}$ (штриховые

* Значение I_w энергии ионизации атома в растворе не следует смешивать со значением I_s в уравнении В. А. Михайлова, С. И. Дракина [4—7]. Величины I_w и ΣI_s связаны равенством $I_w = \Sigma I_s - RT \ln \frac{1}{24,4} + A_n$. Величина ΣI_s является энергией ионизации металлического атома в растворе в узком смысле, тогда как I_w выражает собой суммарную энергию всех процессов ионизации атома. обстоятельный обзор вопросов, касающихся гидратации и сольватации ионов, изложен в работе [7].

линии), рассчитанные в килокалориях на грамм-эквивалент. Отрезки ординат между ними, отвечающие $I_{ш. экв}$, заштрихованы. Чтобы избежать совмещения и пересечения кривых, рис. 1 разделен волнистой линией на две части: налево расположены точки для катионов, обладающих электронной конфигурацией благородных газов, направо — точки неблагородногазовых катионов, для которых абсцисса сдвинута и вынесена вверх.

Обращает на себя внимание параллелизм кривых энергий $I_{ш}$ и $\Gamma_{экв}$. Для ионов щелочных, щелочноземельных металлов и для Al, Sc, Y, La параллелизм в изменении $I_{ш}$ и Γ таков, что разница между ними $I_{ш. экв} = I_{ш} - \Gamma$ является величиной довольно постоянной, равной в среднем 23,2 ккал/г · экв. Это позволяет упростить уравнение (1), так как

$$\Gamma = \Sigma I_{ш} - I_{ш} = \Sigma I_{ш} - 23,2 n.$$

Следовательно,

$$E_0 = \frac{-104n + (S_m + \Sigma I_{ш} - \Sigma I_{ш} + 23,2n)}{23060n} = -3,50 + \frac{S_m}{23060n}. \quad (3)$$

Это означает, что вследствие постоянства величины $I_{ш}$ — ионизаций атома в растворе — нормальный стандартный потенциал E_0 определяется в основном энергией решетки S_m^* .

В табл. 1 даны E_0 , рассчитанные по двум уравнениям: с учетом экспериментальных значений $I_{ш} = \Sigma I_{ш} - \Gamma$ (2) и по значениям $I_{ш}$ равным 23,2 ккал/г · экв (3). Из сопоставления двух способов расчета видно, что по экспериментальным Γ получаются $E_{вмч}$, более близкие к экспериментальным значениям E_0 . Однако все же для металлов Li⁺, Na⁺, Sr²⁺, In³⁺, Cu⁺, Cd²⁺ расхождение ($E_{вмч} - E_{эксп}$) составляет +0,64; -0,12; -0,16; +0,14; -0,25; -0,08 в соответственно. Значительно расхождение для Mn: -1,6 вместо -1,18 в (экспер.). Литий занимает особое положение: вычисленные -2,38 в ближе к -2,09 в по Н. В. Сиджвину [21].

Потенциалы, высчитанные по уравнению (3) для большинства щелочных и щелочноземельных металлов, дают небольшое расхождение с $E_{эксп}$ за исключением $E_{вмч}$ для Li, Be и в особенности для Mg: +0,76; -0,18; -0,55 в соответственно. Из сказанного можно заключить, что в некоторых случаях термодинамические расчеты не дают правильных значений нормальных потенциалов.

ОБРАЗОВАНИЕ И СТРОЕНИЕ ГИДРАТИРОВАННЫХ КАТИОНОВ МЕТАЛЛОВ

Механизм образования и гидратации катиона металла в водном растворе на границе металл — раствор целесообразно рассматривать в соответствии с постулатом электронейтральности атома, выдвинутым Л. Полингом [12]. На поверхности металлического электрода, опущенного в раствор его соли, всегда на мгновение образуется некоторое количество ионов металла, например M²⁺, слабо связанных с соседними атомами до того момента, пока не начнется взаимодействие с полярными молекулами воды. Отделившись от металлического электрода, ион M²⁺, обладающий большой свободной энергией, тотчас реагирует с кислородом молекул воды, перетягивая к себе частично по два спаренных электрона от каждого атома кислорода. В результате кислород мог бы зарядиться положительно. Но положительный заряд не остается на атомах кислорода, который перетягивает к себе частично по электрону

* Это справедливо только для ионов с благородногазовой электронной конфигурацией.

Таблица 1
Расчет нормальных стандартных потенциалов E_0 по данным свободной энергии гидратации Γ , по двум уравнениям (1) и (3) и химической энергии гидратации Γ , по двум уравнениям (1) и (3)

Ион	Энергия, ккал/моль				Ион	Энергия, ккал/моль			
	S_m	$\Sigma I_{ш}$	Γ	E_0 , в, по уравн.		S_m	$\Sigma I_{ш}$	Γ	E_0 , в, по уравн.
Li ⁺	29,2	124	-101*	-2,38	Al ³⁺	65,3	1224	-1094	-1,69
Na ⁺	18,7	117	-97	-2,83	In ³⁺	49,6	1213	-965	-0,20
K ⁺	14,62**	101	-79	-2,92	Tl ⁺	36,2	140	-80	-0,30
Rb ⁺	13,4	96,8	-74	-2,94	Cu ⁺	72,0	177	-139	+0,27
Cs ⁺	12,2	89,2	-66	-2,97	Cu ²⁺	72,0	645	-491	+0,40
Be ²⁺	67,6	631	-577	-1,87	Ag ⁺	59,8	177	-113	+0,86
Mg ²⁺	27,6	524	-450	-2,31	Au ⁺	72,8	212	(142)***	+1,69
Ca ²⁺	38,0	417	-373	-2,73	Au ³⁺	72,8	1005	(662)	+150
Sr ²⁺	26,3	382	-341	-3,05	Sc ³⁺	83,0	1029	-932	-1,90
Ba ²⁺	34,6	349	-310	-2,91	Y ³⁺	103,0	908	-790*	-1,44
Ra ²⁺	23,0	355	-303	-2,88					
					Mn ²⁺	58,2	505	-433	-1,69
					Fe ²⁺	85,8	546	-446	-0,48
					Co ²⁺	94,0	582	-480	-0,26
					Ni ²⁺	90,8	611	-491	-0,15
					Zn ²⁺	22,7	629	-479	-0,77
					Cd ²⁺	18,7	592	-425	-0,48
					Hg ²⁺	7,6	669	-431	+0,82
					Ge ²⁺	78,44	553	-(421)	-0,14
					Sn ²⁺	64,0	509	-364	+0,02
					Pb ²⁺	38,5	514	-353	-0,18

* Значения Γ Li и Y заимствованы из работы В. А. Михайлова, С. И. Дракина [7].

** Значения S_m взяты из В. Латимера [22]. Значения Γ взяты из книги Н. А. Измайлова [18].

*** Значения Γ , поставленные в скобках, вычислены по E_0 , S_m , $\Sigma I_{ш}$.

от каждого из двух водородных атомов. В результате водородные атомы приобретают нецелочисленный заряд. Общий положительный заряд аква-иона распределяется по всем водородным атомам на его периферии. Число молекул H_2O , координационно связанных в комплексном ионе, лишь в идеальном случае может быть равно четырем, что следует из предложенной Д. Барналлом и Р. Фаулером и др. [9—12] модели жидкой воды как квазикристаллической тетраэдрической структуры, характеризующейся координационным числом четыре.

Однако реально дело обстоит иначе, и по расчетам из энергий I_w можно предположить, что реально лишь в единичных случаях (Rb, Ba) число молекул H_2O , координированных вокруг нейтрального металлического атома, приближается к целым значениям 2—4 или 6.

РАСЧЕТ ЧАСТИЧНОГО ЗАРЯДА АТОМОВ ВОДОРОДА В ГИДРАТНОЙ ОБОЛОЧКЕ АКВО-ИОНА

Так как процесс гидратации иона в воде в энергетическом смысле диаметрально противоположен процессу ионизации атома, можно считать, что процесс гидратации сводится к нейтрализации заряда иона металла и перераспределению его по водородным атомам молекул воды. Можно далее предположить, что изменение, как величины заряда самого металлического атома, так и величины приобретаемого водородным атомом заряда находится в пропорциональной зависимости от изменения соотношения энергий I_w и I_v .

Мы думаем, что доля энергии, отвечающая $\frac{I_w}{I_v} \cdot n$, соответствует доле «остаточного» заряда*.

Относительно перераспределения зарядов в комплексном аква-ионе и смысла «остаточного» заряда можно высказать следующее. Можно принять в соответствии с постулатом Л. Полинга о нейтральности, что положительный заряд металлического иона полностью нейтрализуется, переносится и распределяется по водородным атомам. Заряд комплексного аква-иона определяется суммой нецелочисленных зарядов, размещенных в различных точках некоторого объема (иона), например, по два заряда в вершинах тетраэдра или октаэдра соответственно числу молекул H_2O в гидратной оболочке. В согласии с этой гипотезой мы предположили, что энергия $\beta = \frac{I_w}{I_v} \cdot n$ и отвечает величине заряда одного водородного атома. Число же частично заряженных атомов водорода $\gamma = \frac{I_v}{I_w}$, а деленное на два дает число молекул H_2O , входящих в гидратную оболочку аква-иона.

На рис. 1 около символов элементов проставлены цифры, означающие число заряженных водородных атомов иона. Как видно, среднее значение γ для K^+ , Rb^+ , Cs^+ близко к четырем, что отвечает двум молекулам H_2O в гидратной оболочке. Для Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Ra^{2+} и для Sc^{3+} , Y^{3+} , La^{3+} число частично заряженных водородных атомов близко к восьми, что отвечает четырем молекулам H_2O . Следует обратить внимание на то, что число молекул H_2O у Li^+ и Be^{2+} в 1,5 раза больше, чем у ионов противоположного конца ряда периодической системы (6 и 12 вместо 4 и 8).

* Значения I_w , I_v и Γ рассчитываются на грамм-эквивалент.

ВОПРОСЫ СОЛЬВАТАЦИИ, ГРАДИЕНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, ИОННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И ЗАРЯДА ИОНА ГИДРОКСОНИЯ H_3O^+

Приведем некоторые доводы в пользу предложенного механизма гидратации и строения комплексных аква-ионов.

1. Поскольку в основе процесса гидратации катионов лежит перетягивание электронов от кислорода к иону металла и т. д., механизм этого процесса останется, очевидно, неизменным и при сольватации катионов в неводных растворителях, как это показали В. А. Михайлов и С. И. Дракин [4—7]. В растворах NH_3 механизм процесса будет отличаться лишь тем, что донором электронов будет азот.

Действительно, из табл. 2 видно, что энергия ионизации атомов I_w в растворах NH_3 , C_2H_5OH , CH_3OH и CH_3COOH в среднем составляет для щелочных металлов 22,8 ккал, т. е. очень близка к энергии ионизации этих атомов в водных растворах, равной 23,2 ккал. Это возможно при условии равенства энергий гидратации и сольватации.

Таблица 2

Энергия ионизации атомов I_w в различных растворителях*

Ион	Ионизационный потенциал ΣI_v , ккал/моль	Разность $I_w = \Sigma I_v - \Gamma$ в растворах					Среднее арифметическое H_2O , ккал/моль
		H_2O	NH_3	CH_3OH	C_2H_5OH	$H \cdot COOH$	
Li^+	124,0	20,0	**				22,6
Na^+	118,0	22,0	19,0	25,0	28,0	18,5	24,5
K^+	99,8	21,8	20,6	23,8	26,8	26,8	18,6
Rb^+	91,8	17,4	18,5	—	—	18,6	25,3
Cs^+	89,0	25,0	23,4	28,6	—	24,0	58,0:2 = 29,0
Ca^{2+}	418,0	45,6	58,0	—	—	108,8	(без 108,8)

* Рассчитаны по табл. 39 из книги Н. А. Измайлова [18], $I_w = \Sigma I_v - \Gamma$.

** Для Li^+ энергия гидратации принята равной 104 ккал [7].

2. Если заряд водородных атомов у гидратированных катионов равен 0,25, как это принимают Л. Полинг [1, 2] и А. Ф. Капустинский [3], то расчет энергии гидратации дает кривые, обозначенные на рис. 1 тонкими линиями, расхождение которых с кривыми экспериментальных значений Γ столь значительно, что его нельзя объяснить неточностью определений энергий гидратации. Следовательно, заряды водородных атомов у различных гидратированных ионов различны, как различно и число атомов водорода в комплексном катионе.

3. В пользу описанного механизма гидратации и структуры аква-катионов говорит также расчет относительного градиента электрического поля (градиента потенциала), существующего на границе раздела электрод — раствор.

Напряжение внешнего электрического поля, способствующего выходу электронов из атомной решетки металла, создаваемое положительными зарядами аква-ионов раствора, с одной стороны, и электронами в металле — с другой (обкладки конденсатора), характеризуется величиной скачка потенциала в пограничном слое. Этот скачок отвечает нор-

мальному стандартному потенциалу металла в растворе E_0^* . При переходе из металла на аква-ион электрон должен пробежать путь S в направлении от положительно заряженного водородного атома мимо кислородного атома к металлическому иону, т. е. путь, равный толщине молекулы H_2O плюс радиус иона металла: $S = (R + 1,54) \text{ \AA}$.

Следовательно, относительный градиент электрического поля равен:

$$\frac{E_0}{(R + 1,54) \text{ \AA}} = \alpha \cdot 10^8 \text{ в/см.}$$

Значения α , данные в табл. 3, показывают, что для ионов щелочных, щелочноземельных металлов и лактанидов относительный градиент электрического поля оказывается величиной довольно постоянной. Так, при увеличении радиуса иона в три раза, от $0,60 \text{ \AA}$ (Li) до $1,69 \text{ \AA}$ (Cs), относительный градиент электрического поля остается неизменным; при

Таблица 3

Относительный градиент электрического поля (α)

Li ⁺ -0,94*	Na ⁺ -1,08	K ⁺ -1,02	Rb ⁺ -0,98	Cs ⁺ -0,90			
Be ²⁺ -1,00	Mg ²⁺ -0,99	Ca ²⁺ -1,09	Sr ²⁺ -1,08	Ba ²⁺ -1,01	Ra ²⁺ -1,00		
La ³⁺ -0,94	Ce ³⁺ -0,97	Sm ³⁺ -1,00	Pr ³⁺ -0,97	Nd ³⁺ -0,97	Eu ³⁺ -0,96	Yb ³⁺ -0,95	Lu ³⁺ -0,94
Th ⁴⁺ +0,76	U ³⁺ +0,74	Np ³⁺ +0,77	Am ³⁺ +0,91				
Ir ³⁺ +0,35	Os ²⁺ +0,39	Pr ²⁺ +0,42					
Ga ³⁺ -0,24	In ³⁺ -0,15	Tl ³⁺ -0,23					

* Для Li⁺ принято, что $E_0 = 2,09$ [22].

увеличении радиуса иона в пять раз, от $0,30 \text{ \AA}$ (Be) до $1,42 \text{ \AA}$ (Ra), он также остается постоянным и равным $1 \cdot 10^8 \text{ в/см}$.

Полученные значения градиента электрического поля представляют собой величины относительные, поскольку нормальные потенциалы E_0 являются также величинами относительными, меняющими свой знак при переходе через точку нуля водородного потенциала. Поэтому вычисление α для металлов, E_0 которых близко к нулю, теряет смысл. Значение $\alpha \cdot 10^8$, равное 100 млн. в/см, выходит за пределы возможного. Скорость электрона при скачке потенциала в $3,0 \text{ в}$ составляет $0,9 \cdot 10^8 \text{ см/сек}$ (т. е. в 330 раз меньше скорости света).

* Значения E_0 взяты у В. Латимера для кислых растворов [22].

** Толщина молекулы H_2O принимается равной сумме $0,88 + 0,66 = 1,54 \text{ \AA}$, т. е. половине диаметра O ($1,76 \text{ \AA}$) + расстояние от центра кислородного атома до линии H—H = $0,66 \text{ \AA}$. Две связи O—H в молекуле H_2O образуют угол в 105° при длине их в $1,01 \text{ \AA}$ [1, 2].

4. Высказанные соображения о появлении нецелочисленных зарядов на водородных атомах аква-катионов могут быть применены к истолкованию электропроводности растворов. Можно предполагать, что подвижность комплексных аква-катионов в постоянном электрическом поле, т. е. ионная электропроводность, определяется не суммарным зарядом всех водородных атомов иона, который всегда равен $+ze$, а величиной заряда одного водорода.

На рис. 2 даны кривые ионной электропроводности λ^0 для благородногазовых ионов. По оси абсцисс отложены величины частичного

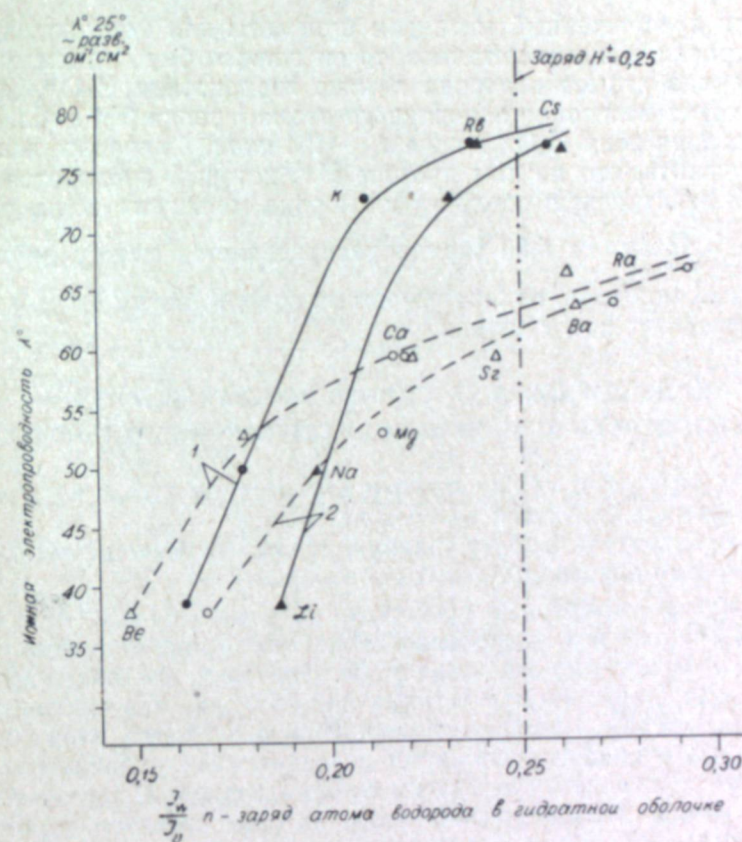


Рис. 2. Зависимость ионной электропроводности λ^0 от заряда водородного атома в гидратной оболочке комплексного аква-катиона.

1 — $I_{\text{в}}$ вычислено по экспериментальным значениям Γ . 2 — $I_{\text{в}}$ принято равным $23,2 \text{ ккал/г} \cdot \text{эв}$.

заряда одного водородного атома в аква-катионе. Здесь ясно видно возрастание λ^0 с увеличением заряда водородного атома. Такая же качественная зависимость наблюдается и для неблагородногазовых ионов с электронными оболочками Cu, Ag, Au*.

Характерно разделение электропроводностей λ^0 вертикальной ординатой при заряде водорода, равном $0,25$, на две группы: левее располагаются λ^0 для благородногазовых ионов, имеющих водородные атомы с зарядами менее $0,25$, правее расположены λ^0 для остальных ионов, заряд атомов водорода на которых много более $0,25$, а в некоторых

* Вследствие разрозненности и отсутствия некоторых данных точки λ^0 , Sn²⁺, Pb²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺, Hg²⁺, Cu²⁺, Ag⁺, Tl⁺ опущены.

случаях достигает 0,6—0,7 (Pb^{2+} , Pt^{+}). Для Au^{3+} вычисленный заряд атома водорода равен 1,01, а число их равно трем.

Эти сопоставления показывают качественное соответствие между ионной электропроводностью и зарядами водородного атома, так что ионы Li^{+} , Rb^{+} , Cs^{+} вполне правомерно оказываются большими, чем Li^{+} ; Ba^{2+} , Ra^{2+} — большими, чем Be^{2+} и т. д.

По-видимому, главной причиной, определяющей подвижность аква-катиона в электрическом поле, является частичный заряд одного водородного атома, а не суммарный заряд всех атомов водородного комплекса.

5. Если предложенный механизм приемлем для истолкования процессов гидратации ионов металлов, то он должен быть приемлем и для расчета заряда атомов водорода в ионе гидроксония H_3O^{+} . Действительно, энергия ионизации водородного атома равна 314 ккал, а энергия образования иона H_3O^{+} в воде $I_w = 104$ ккал. Следовательно, можно предположить, что на том протоне H^{+} , который внедряется первоначально в электронную оболочку кислорода молекулы воды, остается $\left(\frac{104}{314}\right) = 0,33$ заряда, а 0,66 заряда распределяется между двумя другими атомами водорода, принадлежащими воде. Каждый из трех атомов водорода получает по $\frac{1}{3}$ заряда.

ПОЛНАЯ РАБОТА КАТОДНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО АКВО-ИОНА И ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТЬ

Энергия катодного осаждения металлического атома из комплексного аква-катиона складывается из трех величин.

1. Надо затратить работу, равную I_e эв, на выход электрона из атомной решетки электрода.

2. Электрону необходимо пробежать путь $S = (R + 1,54) \text{ \AA}$, о чем говорилось выше; на это затрачивается работа, пропорциональная нормальному, стандартному потенциалу E_0 . Электрон нейтрализует заряд одного из водородных атомов в гидратной оболочке аква-катиона.

3. Из-за нецелочисленности положительного заряда атома водорода избыточный отрицательный заряд передается через орбиты связи от центрального атома металла другим атомам водорода, теряющим свой частичный заряд. Металлический атом, который являлся своего рода остовом комплексного иона, восстанавливается: молекулы H_2O отделяются (ион дегидратируется). При этом освобождается энергия ΔF^* . Сумма этих величин $N = I_e + E_0 + \Delta F$ дана в электронвольтах в табл. 4 для всех металлов, а на рис. 3 представлена в виде двух кривых для ионов как среднееарифметическое $\frac{\Sigma N}{n}$ по подгруппам a, b периодической системы**.

В табл. 4 обращает на себя внимание постоянство значений N , которые, например, для Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} или Ge^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+} почти тождественны. Отсюда следует, что полная работа разряда катионов и электрокристаллизации металлов почти одинакова для всех катионов. Отклонения от среднего составляют у благородногазовых ионов $\pm 1,4\%$, у остальных $\pm 5,0\%$. На рис. 3 приведены кривые среднееарифметиче-

* Развязывание «узла» связей, лежащего в электронной оболочке металлического атома, происходит, вероятно, с торможением, и, по-видимому, это может быть, истолковано, как «замедленный» разряд [23].

** Табл. 4 получена с использованием данных Ландольт-Бернштейна [24], что значительно устранило разброс величин N по сравнению с ранее вычисленными [25, 26].

Таблица 4

Значения $N = I_e + E_0 + \Delta F$ в эв/г · экв

Группы	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	a	a	a	
2	Li 5,32		Be 5,94														
3	Na 5,83		Mg 6,23		Al 6,50												
4	K 5,82		Ca 5,59		Sm 6,04		Ti 6,60		V 6,24		Cr 6,81		Mn 6,56	Fe 7,13	Co 6,72	Ni 6,91	
5		Cu 6,63	Zn 6,71	Nd 6,04	Ga 6,38		Ge 6,66		As 6,87								
6	Rb 5,94		Sr 5,56		Pr 5,46		Zr 5,99		Nb 6,46		Mo 6,51		Tc нет	Ru 6,63	Rh 6,92	Pd 6,99	
7		Ag 7,10	Cd 6,60	Ce 6,32	In нет		Sn 6,65		Sb 6,65		Te 6,82						
8	Cs 5,60		Ba 5,56		La 6,00		Hf 5,77		Ta 6,25		W 6,70		Re 7,57	Os 6,72	Ir 6,46	Pf 7,25	
9		Au 6,90	Hg 6,77		Tl 7,17		Pb 6,56		Bi 6,72								
10			Ra 6,32				Th 5,82										
средне-арифм. по a	(без Li) 5,80		5,87		5,97		6,04		6,32		6,67		7,05	6,79	6,70	705	
средне-арифм. по b		6,88	6,69		6,68		6,62		6,78		6,82						

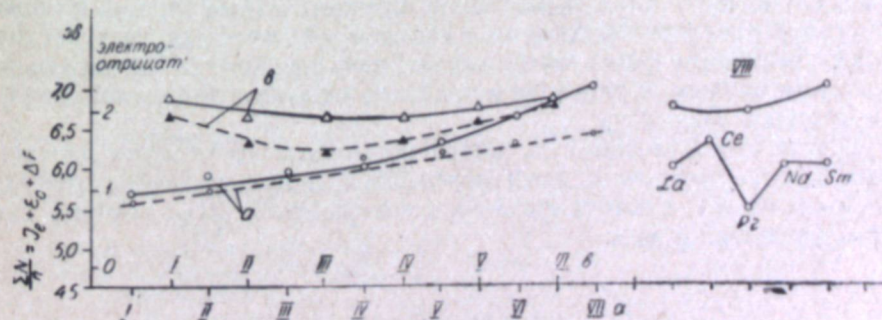


Рис. 3. Расход энергии на разряд аква-катионов (среднееарифметический, по подгруппам a и b периодической системы, см. табл. 4).

Сплошные линии — значения $\frac{\Sigma N}{n}$ по подгруппам a и b ; пунктирные — среднееарифметические значения электроотрицательности элементов по подгруппам a и b . Цифрой VIII обозначены среднееарифметические значения $\frac{\Sigma N}{n}$ для VIII группы Fe, Ru, Os — Co, Rh, Ir — Ni, Pd, Pt.

ских значений электроотрицательностей [27] по подгруппам периодической таблицы. Симбатный ход их с кривыми $\frac{\sum N}{n}$ указывает на тесную связь полной работы восстановления катионов с электроотрицательностью элементов.

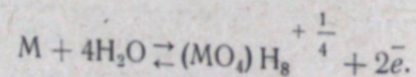
В заключение вернемся к предложенной нами ранее [25, 26] условно названной «оксидной» теории образования катионов. Мы приняли, что металлический электрод, погруженный в водный раствор его соли, окисляется, реагируя с H_2O , с образованием на поверхности слоя окиси МО. При этом оставался неясным вопрос о судьбе водорода. Мы не касались тогда вопроса о зарядах иона и электрода, атомы которых переходят в раствор с образованием M^{2+} . Полагая, что на поверхности всякого электрода всегда присутствует слой окиси МО в силу огромного сродства металлов к кислороду, допускали, что обратный процесс — восстановление катиона — заключается вовсе не в прямом разряде иона M^{2+} , который забирает с электрода два электрона, а в том, что заряд нейтрализует заряд водородного атома и уже атомарный водород восстанавливает до металла молекулу окиси металла МО. Расчет свободной энергии ΔF процесса восстановления по уравнению $MO + 2H = M + H_2O$, проведенный нами почти для всех металлов ряда напряжения, позволил сделать некоторые обобщения, которые все же оставались не совсем ясными. Теперь на основании изложенного выше можно уточнить «оксидную» теорию, причем это не меняет нашу прежнюю точку зрения.

Уточнение касается механизма образования и восстановления иона; все те процессы, которые ранее представлялись идущими на границе раздела металл — раствор, в поверхностном мономолекулярном слое электрода, фактически реализуются в самом аква-ионе.

Сущность «оксидной» теории заключается в следующем. Металлический ион M^{2+} существует (как и электронный газ) в поверхностном слое электрода. Реагируя с полярной молекулой H_2O , ион (по Л. Полингу) перетягивает к себе (при участии кислорода) электроны от водородных атомов, в результате чего образуется аква-ион с нецелочисленными положительными зарядами на атомах водорода.

Следовательно, окисление (отнятие электрона) сводится к тому, что вместо металлического атома окисляются атомы водорода молекул H_2O , координированных вокруг электронейтрального металлического атома, служащего остовом аква-иона. Отрицательные заряды на поверхности электрода приобретаются в конечном итоге не за счет частичной потери электронов металлическими атомами, а за счет частичной потери отрицательных зарядов водородными атомами гидратной оболочки комплексного аква-иона.

С этой точки зрения становятся понятными те закономерности, которые были установлены нами ранее [25, 26]. Так, уравнение образования (окисления) и восстановления двухзарядного аква-катиона приобретает следующий вид:



Заряд водородных атомов различен у различных аква-катионов, и как было показано, у благородногазовых ионов он меньше $+\frac{1}{4}$, а у остальных ионов во всех случаях много больше $+\frac{1}{4}$ и достигает, например у Pb^{2+} и Tl^+ , $+0,6$ — $0,7$.

ВЫВОДЫ

1. Механизм гидратации катионов сводится к уменьшению свободной энергии системы за счет полной нейтрализации заряда металлического иона и распределения заряда по водородным атомам воды, образующим гидратную оболочку вокруг нейтрального атома. Водородные атомы получают нецелочисленные заряды, атомы водорода благородногазовых катионов несут заряды менее $+0,25$, атомы водорода остальных катионов имеют заряды значительно больше $+0,25$ — до $+0,7$.

2. Число водородных атомов в гидратной оболочке катиона определяется отношением

$$\frac{\sum I_v}{\sum I_v - \Gamma};$$

число молекул воды равно половине этого количества; заряд одного атома водорода

$$\beta = \frac{\sum I_v - \Gamma}{\sum I_v} \cdot n,$$

где n — валентность атома,

Для K^+ , Rb^+ , Cs^+ число заряженных водородных атомов близко к 4, для Li^+ — 6, для Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Ra^{2+} близко к 8, для Be^{2+} — 12.

3. Вычислен относительный градиент электрического поля на границе металл — раствор по уравнению

$$\frac{E_0}{(R + 1,54)\text{Å}} = \alpha \cdot 10^8 \text{ в/см},$$

где E_0 — нормальный стандартный потенциал,

R — радиус металлического иона,

$1,54\text{Å}$ — толщина молекулы воды.

Для щелочных, щелочноземельных металлов и лантанидов величина α лежит в пределах $0,97$ — $1,08$. Скорость электрона при разряде иона Li^+ равна $\sim 0,9 \cdot 10^8$ см/сек.

4. Установлена качественная зависимость ионной электропроводности λ^0 от частичного заряда водородного атома в гидратированном комплексном катионе для ионов щелочных, щелочноземельных металлов.

5. Три атома водорода иона гидроксония H_3O^+ несут по $\frac{1}{3}$ заряда, что вычислено по термохимическим данным.

6. Полная работа восстановления катиона $N = I_e + E_0 + \Delta F$ составляет для металлов в среднем по подгруппам в периодической системе $6,75 \pm 1,5\%$, по подгруппам a — возрастает от $5,75$ до $7,0$. Среднеарифметическая величина $\frac{\sum N}{n}$ изменяется по подгруппам периодической системы симбатно со средней величиной электроотрицательности.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
19/1 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Pauling. Journ. Chem. Soc., London, Sept., 1461 (1948).
2. Л. Полинг, Природа химической связи. Госхимиздат, 1947, стр. 337.
3. А. Ф. Капустинский. Журн. физ. хим., т. XXXII, 1648 (1958).
4. В. А. Михайлов, С. И. Дракин. Журн. физ. хим., 29, 2133 (1955).

5. С. И. Дракин, В. А. Михайлов. Тр. совещ. по теории растворов. Изд. Харьк. гос. ун-та. (1959).
6. С. И. Дракин, В. А. Михайлов. Журн. физ. хим., 33, 1544 (1959).
7. В. А. Михайлов, С. И. Дракин. Изв. СО АН СССР, № 6, 1960.
8. В. А. Плесков. Успехи химии, 16, 254 (1947).
9. Д. Бернал, Р. Фаулер. Успехи физ. наук, 14, 586 (1934).
10. D. Bernal, R. Fowler. J. Chem. Phys., 1, 515 (1933).
11. E. Verwey. Rec. Trav. Chim. Pays Bas, 62, 127 (1942).
12. A. Eucken. Ztsch. für Elektroch., 52 (1948).
13. К. П. Мищенко, А. М. Сухотин. Изв. сектора платины ИОНХ АН СССР, 26, 203 (1951).
14. К. П. Мищенко, А. М. Сухотин. Журн. физ. хим., 27, 26 (1953).
15. К. П. Мищенко. Журн. физ. хим., 26, 1736 (1952).
16. К. П. Мищенко. Acta Physicochim., 3, 693 (1935).
17. К. П. Мищенко, Э. И. Квятт. Журн. физ. хим., 28, 1451 (1954).
18. Н. А. Измайлов. Электрохимия растворов. Изд. Харьков. гос. ун-та, 1959, стр. 319, 342.
19. F. H. Lee, Y. K. Tai. J. Chinese Chem. Soc., 8, 184 (1941).
20. F. H. Lee, Y. K. Tai. J. Chinese Chem. Soc., 9, 41 (1942).
21. N. V. Sidwick. The Chemical Elements and Their Compounds, vol. I, S. 59 (1950).
22. В. Латимер. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах. ИЛ, 1954.
23. Erdey-Gruz, M. Volmer. Z. Phys. Chem. (A), 150, 203 (1930).
24. Landolt-Bornstein, Bd. I, 4 Teil, Kristalle, S. 759, 1955.
25. Н. Д. Бирюков. Журн. неорг. хим. т. II, 2240 (1957).
26. Н. Д. Бирюков. Журн. неорг. хим., т. IV, 2670 (1959).
27. С. С. Бацанов. Изв. СО АН СССР, № 1, (1960).

А. И. ВУЛИХ, В. Л. БОГАТЫРЕВ

ИОНООБМЕННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БРОМИСТО- И ИОДИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТ

ВВЕДЕНИЕ

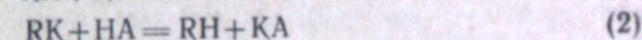
В промышленности бромисто- и йодистоводородную кислоты получают из отдельных элементов [1—7]; из элемента и воды в присутствии красного фосфора [8]; из элемента и паров воды в присутствии восстановителей [9, 10]; обработкой галогенидов серной кислотой [11, 12]; из элемента и органических веществ [11, 13]; из бромного железа [14] и др.

Все перечисленные выше способы сложны в технологическом и аппаратном оформлении, что обуславливает высокую стоимость кислот по сравнению с элементарными веществами и солями.

Мы исследовали ионообменный способ, основанный на использовании в качестве исходного бром- или йодсодержащего материала любых солей бромисто- или йодистоводородной кислот, например солей железа, калия, натрия, которые являются продуктами прямой переработки природного сырья (рассолов, буровых вод и др.). В литературе нет данных об ионообменном способе получения бромисто- и йодистоводородной кислот.

Сущность метода

Бромистоводородная или йодистоводородная кислоты получают в результате реакции двойного обмена на катионите между бромидами или йодидами металлов, например бромистым или йодистым калием, и минеральными кислотами:



где R — радикал функциональной группы смолы,
Г — Br, J,
А — анион кислоты.

Таким образом, сущность ионообменного метода получения кислот заключается в том, что на катионите в Н-форме водород замещается катионом (в данном случае калием) и переходит в нужную химическую форму. Вследствие увода током раствора продукта ионообменной реакции из ее сферы реакция практически идет до конца.

Схема технологического процесса

Процесс осуществляется на катионите путем последовательных операций сорбции — десорбции участвующих в реакции катионов (рис. 1).

Практически ион К (или, например, Na, Fe, NH₄), вытесняя из катионита Н-ион, появляется в фильтрате (проскок) еще до полного вытес-

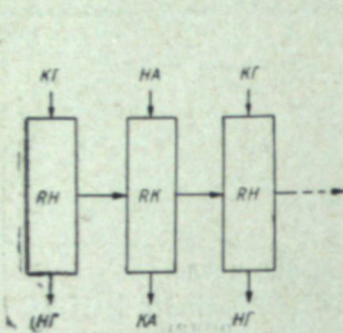


Рис. 1.

нения Н-иона. Таким образом, получаются два различных раствора: чистый раствор кислоты НГ и «смешанный» раствор, содержащий НГ и КГ. Предусматривается возвращение смешанных фракций на эту же операцию в следующем цикле. На рис. 2 представлен практический процесс на катионите.

Ионообменные смолы

По ионообменным свойствам смолы делятся на две группы: иониты, способные к обмену катионов, — катиониты и иониты, способные к обмену анионов, — аниониты. По количеству функциональных групп различают монофункциональные полифункциональные иониты.

К первым относятся такие иониты, которые содержат лишь одну функциональную группу (например, сополимеризационные сульфокатиониты и аниониты с четвертичными аммонийными группами). Ко вторым — содержащие одновременно группы разной природы (например, поликонденсационные катиониты с сульфо- и оксигруппами, а также многие поликонденсационные аниониты).

Б. П. Никольский [15] подразделяет иониты на 4 группы: 1) иониты, проявляющие свойства сильных кислот или сильных оснований (сульфополистирольные смолы КУ-2, СДВ-2, СДВ-3, содержащие активные группы SO_3H , $\equiv\text{N}^+$); 2) иониты, проявляющие свойства слабых кислот или оснований (метафенилдиаминовые анионитные смолы и др., содержащие активные группы OH , $-\text{NH}_3^+$, $=\text{NH}_2^+$, $\equiv\text{NH}^+$, COOH); 3) иониты смешанного типа, проявляющие свойства смеси сильной и слабой кислот или оснований (сульфифеноловые смолы, СМ-12, ПЭК, содержащие группы COOH , SO_3H , $\equiv\text{NH}^+$); 4) иониты, обменная способность которых непрерывно возрастает по мере повышения pH (для катионитов) или pOH (для анионитов) в широком интервале pH (почвы, глины, глауконит).

Получение сильных кислот на ионитах лучше всего проводить на быстродействующих и универсальных монофункциональных сильнокислотных катионитах, относящихся к первой из перечисленных групп. Мы получали НВг и НД на катионите КУ-2 (продукт сульфирования сополимера стирола с дивинилбензолом; функциональная группа в Н-форме — SO_3H).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Лабораторные исследования проводились на установке, состоящей из стеклянных колонок длиной 620 мм с внутренним диаметром 10,8 мм; каждая из колонок заполнялась 25 г катионита КУ-2 (воздушно-сухой в Н-форме) и сообщалась посредством резиновых шлангов со склянками для исходных растворов, установленными на 90 см выше верхнего края колонок, и сосудами для сбора фильтрата.

В качестве основного показателя эффективности ионообменного процесса мы принимали прямой выход чистой кислоты и изучали его зависимость от ряда условий проведения процесса.

Свойства ионита

Катионит КУ-2, на котором мы проводили опыты, вполне удовлетворяет общим требованиям: высокая емкость, универсальность действия при любых значениях pH , устойчивость против истирания, индифферентность к окислителям и восстановителям, широкий температурный интервал устойчивой работы и др.

Предварительно катионит был очищен от пылевой фракции отмучиванием в стеклянном цилиндре. Для очистки от минеральных примесей он многократно промывался с колонки 2 н соляной кислотой, подаваемой со скоростью 1—2 мл/мин. Полнота отмывки контролировалась по исчезновению ионов железа (качественная реакция с роданистым аммонием). Далее смола была отмыта от кислоты дистиллированной водой (скорость 2—2,5 мл/мин) до нейтральной реакции фильтрата по метилоранжу. После такой обработки ионит находился в Н-форме и не содержал каких-либо других ионов.

В связи с тем, что воспроизводимость показателей заводских образцов смол не всегда одинакова, определялись свойства катионита.

1. По результатам ситового анализа определено содержание в смоле фракций того или иного зернения в процентах к общему количеству ионита, взятого для рассева на ситах.

Класс, мм	Выход, %
1,0 — 0,5	36,62
0,5 — 0,25	52,33
0,25 — 0,20	3,07
0,20 — 0,14	4,50
0,14 — 0,10	2,34
0,10 — 0,071	0,83
< 0,071	0,31

- Найдено, что насыпной удельный вес составляет $0,769 \text{ г/см}^3$.
- Относительная набухаемость

$$\frac{V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}}{V_{\text{нач}}} \cdot 100\% = 101,8\%$$

- 1 г ионита, считая на сухой, в набухшем состоянии занимает объем $V_{\text{кон}} 2,025 \text{ см}^3$.

Концентрация исходных растворов

С увеличением концентрации КВг и КД повышается концентрация получаемой кислоты, что уменьшает затраты на ее упарку и время проведения одного цикла. Но с другой стороны, уменьшается и прямой выход кислоты, так как происходит размывание границы зон ионов Н и К. Предел целесообразного увеличения концентрации устанавливали экспериментально. Работу проводили с 0,5, 1, 2 и 4 н растворами КВг и КД.

Скорость пропускания растворов

С увеличением скорости пропускания солевого раствора через колонку уменьшается время контакта раствора с ионитом и увеличивается влияние конвекционных процессов, что препятствует четкому вытеснению фильтрата, обогащенного десорбированным ионом. Однако увеличение скорости повышает производительность процесса. Оптимальная скорость определялась опытным путем.

В данной работе для определенной концентрации растворов КВг и КJ мы проводили опыты с четырьмя значениями скорости: 0,4, 0,8, 1,6, 3,2 мл/мин.

Температура

Влияние температуры на ионообменные процессы в динамических условиях изучено мало. Мы проводили опыты в колонках с водяной рубашкой (по типу холодильника). Температура воды в рубашке поддерживалась постоянной с помощью термостата. Опыты проводились при температуре 27 и 50°.

Получение НВг и НJ

При получении кислот из бромидов и йодидов основную ценность представляют ионы Вг' и J', которые необходимо перевести из КВг и КJ соответственно в НВг и НJ.

Основная часть экспериментов, проводившихся для выявления оптимального режима, заключалась в определении выходов кислоты до проскока в зависимости от концентрации растворов и скорости.

При пропускании солевых растворов через смолу отбирались пробы по 20 мл. Контроль за полнотой поглощения иона калия из раствора велся по количеству выделяющейся кислоты. Ион калия в фильтрате после колонки (проскок) обнаруживали по уменьшению содержания в растворе кислоты и качественно с кобальтинитритом натрия. Результаты опытов представлены в табл. 1, 2 и на рис. 3—6.

Таблица 1

Состав фильтров при ионообменном получении НВг из раствора КВг на катионите КУ-2 (температура 27°)

Пропущено раствора, мл	Скорость фильтрования, мл/мин							
	0,4		0,8		1,6		3,2	
	НВг, г · экв/л	КВг, г/л	НВг, г · экв/л	КВг, г/л	НВг, г · экв/л	КВг, г/л	НВг, г · экв/л	КВг, г/л
20	0,022	нет	0,029	нет	0,042	нет	0,056	нет
40	0,204	.	0,142	.	0,115	.	0,112	.
60	0,451	.	0,329	.	0,301	.	0,218	.
80	0,490	.	0,459	.	0,429	.	0,390	.
100	0,5	.	0,491	.	0,480	.	0,429	.
120	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,481	.
140	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
160	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
180	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
200	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
220	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
240	0,170	39,27	0,5	.	0,5	.	0,5	.
260	0,008	58,548	0,253	29,393	0,290	24,990	0,300	23,800
280			0,090	48,790	0,110	46,410	0,175	38,675
300			0,038	54,978	0,055	52,955	0,110	46,410
320			0,002	59,262	0,020	57,120	0,070	51,170
340					0,004	59,024	0,041	54,621
360							0,019	57,239
Выход НВг до проскока, %	96,32		91,90		90,11		85,17	

Продолжение табл. 1

Пропущено раствора, мл	Скорость фильтрования, мл/мин							
	0,4		0,8		1,6		3,2	
	НВг, г · экв/л	КВг, г/л	НВг, г · экв/л	КВг, г/л	НВг, г · экв/л	КВг, г/л	НВг, г · экв/л	КВг, г/л
20	0,022	нет	0,022	нет	0,025	нет	0,024	нет
40	0,058	.	0,140	.	0,104	.	0,075	.
60	0,165	.	0,456	.	0,388	.	0,343	.
80	0,763	.	0,910	.	0,938	.	0,968	.
100	1,0	.	1,0	.	1,0	.	1,0	.
120	1,0	.	1,0	.	1,0	.	1,0	.
140	1,0	.	0,923	9,163	0,911	10,591	0,852	17,612
160	0,800	23,80	0,277	86,037	0,334	79,254	0,390	72,59
180	0,038	114,478	0,116	105,196	0,145	101,745	0,184	97,103
200							0,018	116,858
Выход НВг до проскока, %	82,70		72,83		71,30		70,2	

Концентрация солевого раствора 238 г/л

20	0,090	нет	0,110	нет	0,072	нет	0,134	нет
40	1,176	.	0,644	.	0,664	.	0,616	.
60	1,960	.	1,832	.	1,808	.	1,768	.
80	2,0	.	2,0	.	2,0	.	2,0	.
100	1,316	81,396	1,564	51,408	1,588	49,028	1,624	44,744
120	0,244	208,964	0,560	171,360	0,596	167,076	0,548	172,788
140	0,018	235,858	0,134	222,054	0,120	223,720	0,120	223,720
160							0,028	234,668
Выход НВг до проскока, %	66,6		53,5		52,48		52,04	

Концентрация солевого раствора 476 г/л

20	0,252	нет	0,188	нет	0,356	нет	0,432	нет
40	1,928	.	1,532	.	1,304	.	1,228	.
60	2,072	+	2,184	+	1,652	+	1,564	+
80	0,552	+	0,760	+	1,108	+	1,040	+
100	0,040	+	0,100	+	0,284	+	0,332	+
120			0,056	+	0,116	+	0,196	+
140			0,024	+	0,012	+	0,040	+
160							0,011	+
Выход НВг до проскока, %	45,0		35,5		34,3		34,13	

Таблица 2

Состав фильтратов при ионообменном получении HJ из раствора KJ на катионите КУ-2 (температура 27°)

Пропущено раствора, мл	Скорость фильтрования, мл/мин							
	0,4		0,8		1,6		3,2	
	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$
Концентрация солевого раствора 83 г/л								
20	0,028	нет	0,036	нет	0,038	нет	0,036	нет
40	0,166	.	0,138	.	0,127	.	0,093	.
60	0,444	.	0,294	.	0,270	.	0,194	.
80	0,485	.	0,41	.	0,416	.	0,318	.
100	0,5	.	0,486	.	0,474	.	0,430	.
120	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,481	.
140	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
160	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
180	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
200	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
220	0,5	.	0,5	.	0,5	.	0,5	.
240	0,285	35,690	0,336	27,224	0,350	24,900	0,356	23,904
260	0,030	78,020	0,138	60,092	0,160	56,440	0,229	44,986
280	0,005	82,170	0,060	73,04	0,079	69,886	0,140	57,960
300			0,014	80,676	0,027	78,518	0,082	69,388
320					0,003	82,502	0,046	75,364
340							0,025	78,850
360							0,014	80,678
Выход HJ до проскока, %	93,52		88,93		87,5		81,95	
Концентрация солевого раствора 166 г/л								
20	0,014	нет	0,018	нет	0,013	нет	0,002	нет
40	0,051	.	0,063	.	0,078	.	0,053	.
60	0,198	.	0,450	.	0,380	.	0,399	.
80	0,682	.	0,856	.	0,889	.	0,828	.
100	1,0	.	1,0	.	1,0	.	1,0	.
120	1,0	.	1,0	.	1,0	.	1,0	.
140	1,0	.	0,922	12,948	0,918	13,612	0,943	9,462
160	0,923	12,782	0,500	83,000	0,494	83,996	0,537	76,858
180	0,076	153,384	0,135	143,590	0,171	136,614	0,164	138,776
200							0,017	163,178
Выход HJ до проскока, %	79,8		68,5		68,0		66,4	
Концентрация солевого раствора 332 г/л								
20	0,080	нет	0,104	нет	0,144	нет	0,076	нет
40	1,180	.	0,708	.	0,688	.	0,812	.
60	1,872	.	1,677	.	1,628	.	1,532	.
80	2,0	.	2,0	.	2,0	.	2,0	.
100	1,512	81,008	1,636	60,424	1,620	63,08	1,560	73,04
120	0,248	290,832	0,616	229,744	0,664	221,776	0,660	222,44
140	0,044	324,696	0,204	298,136	0,200	298,80	0,244	291,496
160							0,064	321,376
Выход HJ до проскока, %	63,4		50,3		49,8		48,94	

Продолжение табл. 2

Пропущено раствора, мл	Скорость фильтрования, мл/мин							
	0,4		0,8		1,6		3,2	
	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$	$HJ, г \cdot экв/л$	$KJ, г/л$
Концентрация солевого раствора 664 г/л								
20	0,232	нет	0,176	нет	0,200	нет	0,324	нет
40	1,848	.	1,424	.	1,420	.	1,240	.
60	2,052	.	2,200	.	2,240	.	1,904	.
80	0,788	+	0,928	+	0,92	+	0,660	+
100	0,024	+	0,160	+	0,164	+	0,318	+
120			0,056	+	0,048	+	0,072	+
140							0,024	+
160							0,008	+
Выход HJ до проскока, %	42,1		32,4		32,7		31,6	

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 3—6 показаны выходные кривые бромистоводородной кислоты при различных концентрациях бромистого калия (рис. 3—0,5 н, рис. 4—1 н, рис. 5—2 н, рис. 6—4 н) и различной скорости пропуска раствора (—0,4; ---0,8; -.-.-1,6; — — — 3,2 мл/мин). Концентрация кислоты вначале возрастает от 0 до максимума, определяемого вытеснением воды, заполнявшей пустоты в слое катионита. Далее следует горизонтальная площадка, ордината которой равна концентрации десорбента, выраженной в $г \cdot экв/л$. Затем, после появления проскока десорбента, концентрация кислоты уменьшается, причем сумма концентрации кислоты и галогенида калия (в $г \cdot экв/л$) остается постоянной и равной концентрации десорбента. После полного вытеснения иона водорода состав фильтрата становится тождественным составу раствора десорбента. Выходная кривая галогенида калия является зеркальным отображением выходной кривой по кислоте (кроме восходящего участка). С увеличением концентрации исходного раствора горизонтальная площадка уменьшается, а при концентрации 4 н концентрация вытесняющей соли в $г \cdot экв/л$ не достигается совсем.

Полученные данные показывают, что выход чистой кислоты уменьшается в небольшой степени при увеличении скорости и весьма значительно — при увеличении концентрации десорбента. На рис. 3—6 наклон нисходящих кривых, выражающих концентрацию в смешанных растворах, к оси абсцисс уменьшается по мере роста скорости и концентрации, и площадь под этими участками кривых в отношении к общей площади под выходными кривыми увеличивается, что означает повышение доли HBr в смешанных растворах и уменьшение выхода чистой HBr .

Уменьшение выхода чистой кислоты с повышением концентрации объясняется «проваливанием» солевого раствора через колонку вследствие разницы в удельных весах воды, находящейся между зернами смолы, и солевого раствора. При скоростях от 0,8 до 3,2 мл/мин этот эффект проявляется примерно в равной степени. Поэтому при повышенных концентрациях для увеличения выхода чистой кислоты целесообразно пропускать солевой раствор через колонку снизу вверх или сильно измельчать

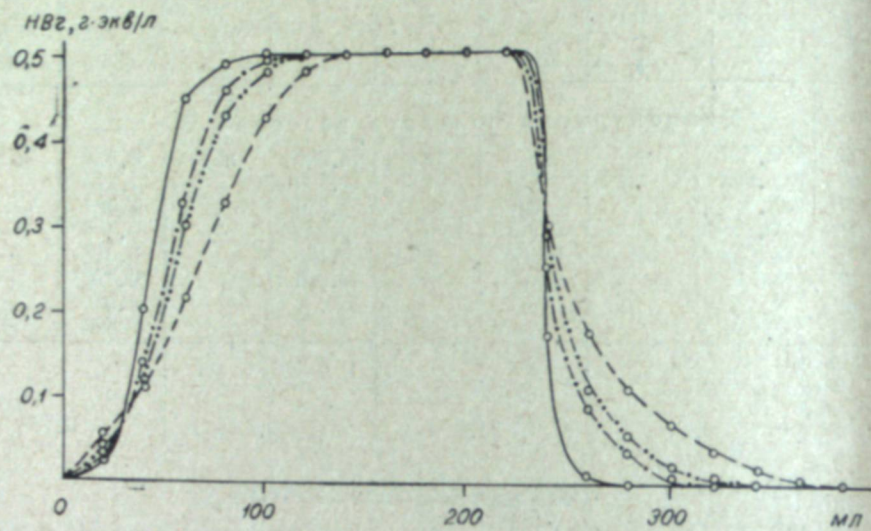


Рис. 3.

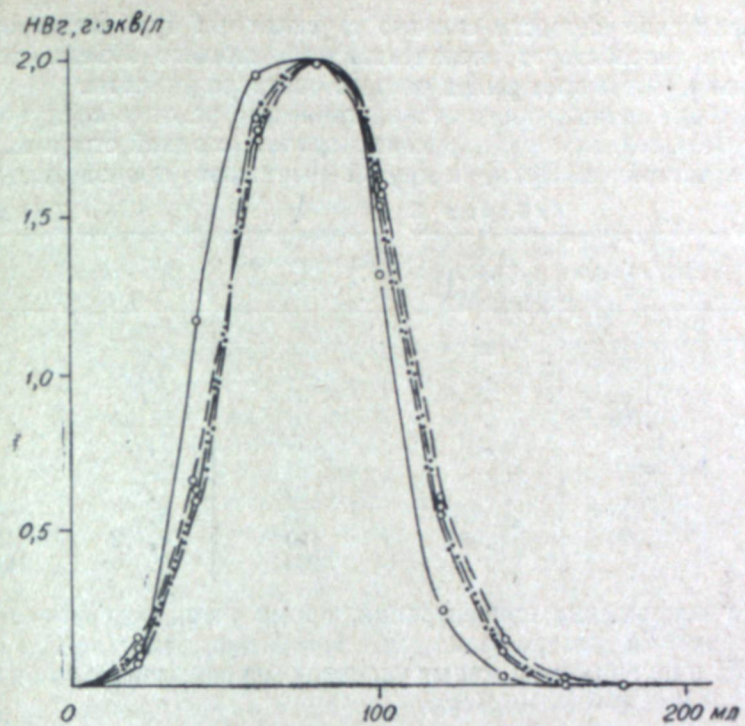


Рис. 5.

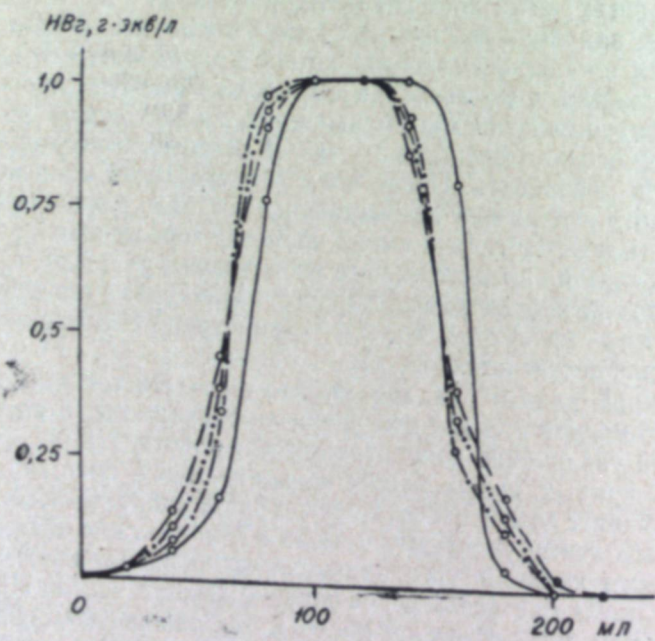


Рис. 4.

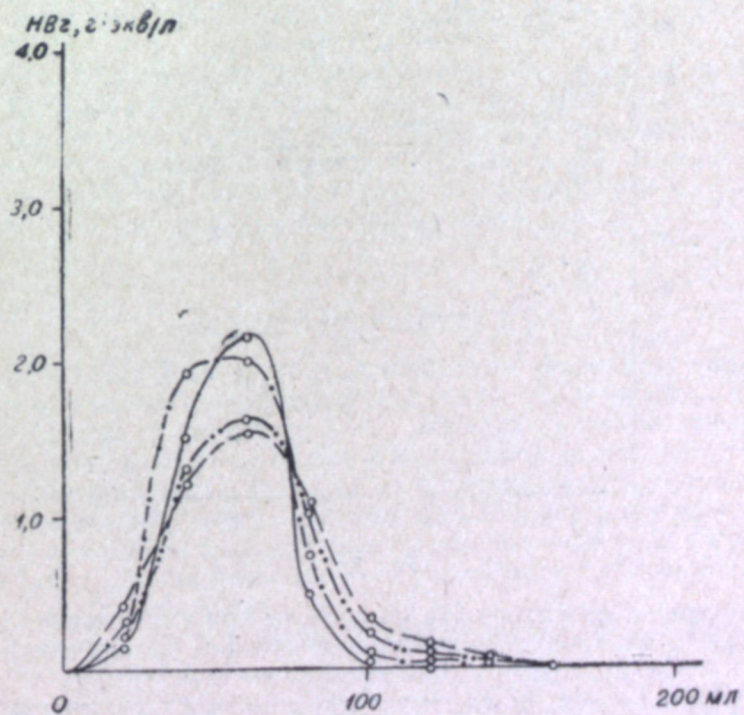


Рис. 6.

смолю. Увеличение скорости связано с усилением турбулентных токов в смоле, что способствует увеличению работающего объема смолы и, следовательно, уменьшает выход чистого раствора кислоты.

При выборе оптимального технологического режима следует учитывать, что уменьшение скорости и концентрации, с одной стороны, повышает выход чистой кислоты, с другой — снижает производительность

Таблица 3

Пропущено раствора, мл	HJ, г · экв/л	KJ, г/л
20	0,011	нет
40	0,038	"
60	0,162	"
80	0,788	"
100	1,0	"
120	1,0	"
140	1,0	"
160	0,878	20,252
180	0,066	155,044

Таблица 4

Пропущено раствора, мл	HJ, г · экв/л	KJ, г/л
20	0,004	нет
40	0,029	"
60	0,667	"
80	0,928	"
100	1,0	"
120	1,0	"
140	1,0	"
160	0,963	6,142
180	0,322	112,548
200	0,030	161,020

процесса, а сокращение концентрации, кроме того, увеличивает количество подлежащей выпариванию воды. Например, для процесса получения HJ из KJ в полупромышленных условиях мы рекомендовали концентрацию KJ 1 н и скорость 10 л/час.

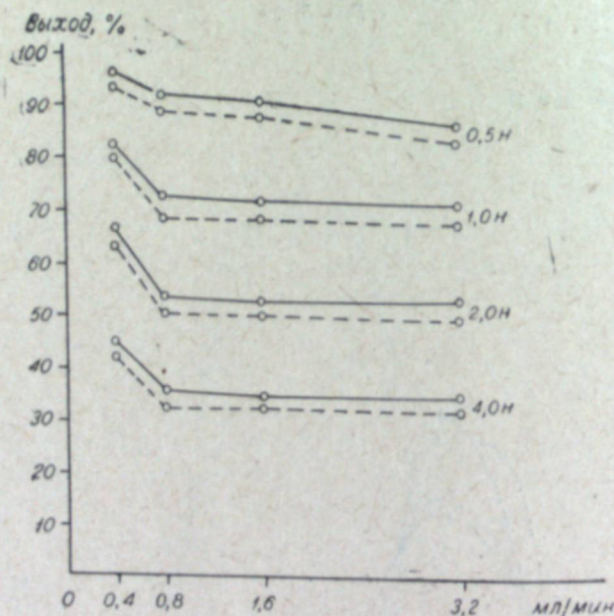


Рис. 7.

Для определения выхода чистой кислоты при уменьшении скорости до 0,2 мл/мин были проведены опыты по получению HJ при концентрации KJ 166 г/л (табл. 3). Выход чистой кислоты составил 80,9%.

Для определения влияния температуры на выход кислоты до проскока были проведены опыты по получению йодистоводородной кислоты при концентрации йодистого калия 1 н, скорости 0,8 мл/мин, и температуре 50°. Результаты приведены в табл. 4. Выход HJ до проскока составил 73,4%.

Из табл. 2 и 4 видно, что с повышением температуры от 27 до 50° выход увеличивается приблизительно на 5%.

На рис. 7 представлена зависимость выхода HBr и HI до проскока от концентрации и скорости. Видно, что при увеличении скорости от 0,4 до 0,8 мл/мин выход существенно уменьшается, а от 0,8 до 3,2 мл/мин остается почти постоянным. Различие выходов HBr и HI до проскока для определенной концентрации солевого раствора и скорости обусловлено, очевидно, различной силой кислот, а также влиянием аниона. Для проверки этого предположения мы провели опыты по получению соляной кислоты из хлористого калия (табл. 5). Выход HCl до проскока составил 82,74%. При данных условиях выход HCl немного превышает выход HBr. При получении кислот динамическая емкость смолы составляла 3,88—3,95 мг · экв/г.

Были проведены опыты по получению бромистоводородной кислоты из бромистого железа, меченого изотопом Fe — 55,59. Выход HBr при 5%-ной концентрации FeBr₂ за один цикл составил 97,3% при скорости около 0,5 мл/мин. Динамическая емкость смолы 4,37 мг · экв/г.

Для проверки данной работы были проведены полупромышленные испытания ионообменного способа получения йодистоводородной кислоты на катионите КУ-2. Длина колонны составляла 300 см, диаметр — 15 см.

Колонна содержала около 35 кг смолы. Через нее пропускали 1 н раствор KJ (марки х.ч.) со скоростью около 10 л в час. Выход полученной кислоты до проскока составил около 80% за один цикл. Кислоту нейтрализовали карбонатом цезия, и раствор CsJ упаривали. Полученный йодистый цезий по ТУ-4481-54 соответствует квалификации ч. д. а. Содержание основного вещества (CsJ) > 99,5%, хлоридов (Cl) < 0,02%, калия (K) — 0,003%.

ВЫВОДЫ

1. Исследован в лабораторных условиях и проверен в полупромышленном масштабе ионообменный способ получения бромисто- и йодистоводородной кислот на катионите КУ-2. Изучено влияние концентрации и скорости для растворов KBr или KJ на прямой выход чистой кислоты.
2. Выход кислоты до проскока за один цикл при оптимальных условиях составляет 80—96%; смешанные фракции возвращаются в следующий цикл, благодаря чему достигается перевод соли в кислоту на 100%. Полный цикл, продолжающийся 30—40 ч, позволяет получать 0,35 кг HBr, или 0,5 кг HI на 1 кг ионита.
3. Показано, что повышение температуры от 27 до 50° увеличивает выход до проскока на 5%.
4. Кроме галогенидов калия, для получения кислот могут быть использованы любые другие растворимые бромиды и йодиды металлов.
5. Метод прост и не требует сложного аппаратного оформления.

Новосибирск

Поступила в редакцию
4/IX 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Герм. пат., 393866 (1918).
2. Пат. США, 1380084 (1918).
3. Пат. США, 1398596 (1918).
4. Герм. пат., 506634 (1928).
5. Пат. США, 2070213 (1937).
6. Пат. ФРГ, 921929 (1955).
7. В. П. Ильинский, В. Ф. Бойцова, Е. Г. Дроздова, Н. П. Кузьмина, К. Д. Русинова. Сб. трудов ГИПХ, вып. 41, 1958, стр. 161.
8. Неорганические синтезы, тт. I, II, III, ИЛ, 1951.
9. Gmelin's Handbuch der anorganischen Chemie, 8 Aufl., Bd. 7, Brom, Verlag Chemie, 1931.
10. Авт. свид. СССР, 3647 (1927).
11. Руководство по препаративной неорганической химии. Под ред. Врайера. ИЛ, 1956.
12. A. Muller. Monatsh, 49, 29 (1958).
13. Герм. пат., 457069 (1925).
14. В. И. Ксензенко, А. С. Стасиневич. Технология брома и йода. Госхимиздат, 1960.
15. Б. П. Никольский. В сб. «Хроматография». Изд. Ленингр. ун-та, 1956, стр. 5.

И. А. АДАМЕНКО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕРМАНИЯ В УГЛЯХ
И ПРОДУКТАХ ИХ СЖИГАНИЯ

Из методов колориметрического определения германия самым распространенным и лучшим для определения малых количеств германия является колориметрический фенолфлуороновый метод. Точность анализа и длительность его проведения определяются следующими операциями: озолением угля, вскрытием золы, отделением германия от мешающих элементов и колориметрированием.

Для разложения материалов, содержащих германий, в работе Т. В. Арефьевой, А. А. Поздняковой и Р. Г. Пац [1] предлагается сплавление с перекисью в железном тигле. Однако этот способ для «бедных» материалов не может быть рекомендован, так как железо тиглей содержит германий, переход которого в плав неопределен. Кроме того, по мнению английских и японских исследователей [2—4], при сплавлении с перекисью натрия кремнекислота силикатов переходит в растворимую форму и, выпадая при подкислении раствора, сильно адсорбирует германий.

Наиболее пригодным способом вскрытия минеральных проб для анализа на германий является разложение плавиковой и фосфорной кислотами. Что касается вскрытия различных углеродистых веществ для определения в них германия, то из литературных данных следует, что различные угли ведут себя по-разному, поэтому, прежде чем приступить к анализу, необходимо установить степень потерь германия при озолении. Для озоления же продуктов переработки угля, кокса, каменноугольной смолы, битумов, различных отходов и т. д. требуются особые условия (для каждого материала). В. А. Назаренко, Н. В. Лебедева и Р. В. Равицкая [5] считают, что общим способом озоления угля и продуктов его переработки, применимым к самым разнообразным органическим материалам и не приводящим к потере германия, является сжигание углеродистого вещества со смесью окиси и нитрата кальция либо окиси и нитрата магния.

Исследованиями сотрудников ВНИИУ В. С. Каминского и С. Я. Лейтес [6] показано, что сжигание с кальциевой смесью может быть применено только при анализе многозольных углей и лишь в случае исключительно осторожного нагревания и скрупулезной регулировки температуры в первой стадии озоления (400° С). Если же анализу подвергаются наиболее богатые германием малозольные угли, состоящие почти нацело из органического вещества, сжигание с кальциевой смесью, как бы тщательно оно ни регулировалось, неминуемо приводит к вспышке и к потере части германия с распыляющейся массой. Сжигание же угля с добавкой магниевой смеси протекает спокойно, однако является весьма длительной операцией. В. С. Каминский и С. Я. Лейтес предлагают вести озоление угля с подачей воздуха по упрощенной методике с применением естественной тяги воздуха через открытую дверцу муфеля и через отверстие для термопары в его задней стенке.

При параллельном озолении одних и тех же образцов углей с добавкой магниевой смеси и без нее по предлагаемой схеме с естественной тягой содержание германия в золе практически оказалось одинаковым.

В кислых растворах с фенилфлуороном аналогично германию реагируют многие элементы IV, V и VI групп периодической системы. Для отделения германия от мешающих элементов применяются два метода: экстрагирование с четыреххлористым углеродом из солянокислого 8—10 н раствора [5—8] и дистилляция из солянокислого 6 н раствора [9—11]. При разложении зол фосфорной кислотой [11] экстракция четыреххлористым углеродом приводит к выпадению студнеобразного геля кремневой кислоты, который затрудняет расслаивание растворов.

Так как в нашей работе применялся фосфорнокислый метод разложения зол, пришлось отказаться от экстракции и заменить ее отгонкой тетраоксида германия. Дистилляция позволяет отделить германий от большинства мешающих элементов, кроме олова (IV), сурьмы и молибдена. Но если в дистилляционную колбу добавить фосфорную кислоту, то олово и молибден удерживаются в остатке. Сурьма удерживается, если дистилляционная колба снабжена небольшим дефлегматором, наполненным осколками стекла.

Завершающей операцией при проведении анализа углей на германий является колориметрирование, которое может быть осуществлено как визуальным методом, так и с помощью фотоколориметров различных типов.

При определении германия по методу Назаренко и др. весь процесс подготовки угля к озолению, самого озоления и вскрытия золы производится в платиновой чашке, которая бывает занята для анализа каждой пробы более чем 8-часовой рабочий день. При определении германия по методике ВНИИУ платиновой посудой пользуются значительно меньше время, однако она тоже необходима для проведения анализов.

Задачей нашей работы являлось, помимо анализа некоторых методов выделения и определения германия, выявление наиболее простого, быстрого и точного метода определения германия при работе как с малозольными обогащенными углями, так и с необогащенными многозольными, метода, не требующего платиновой посуды. С этой целью нами были опробованы две ускоренных методики определения германия в углях: методика лаборатории обогащения ИГД СО АН СССР [10] и методика кафедры химии МГИ [11].

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕРМАНИЯ В ОБОГАЩЕННЫХ УГЛЯХ

Методикой лаборатории обогащения [10], разработанной на обогащенных углях бассейна № 1, предусматривается озоление навески угля 0,5 г без спекания при температуре 550°С в течение 2,0—2,5 ч. В остатке от сжигания определяется зольность, после чего его переносят в колбу дистилляционного прибора 15 мл 6 н соляной кислоты. Германий отгоняется в количестве 12 мл в виде тетраоксида в приемник, которым является мерный цилиндр. Из отгона для колориметрирования в мерную колбу на 25 мл отбирается 5 мл раствора, который нейтрализуется щелочью до кислотности, равной 1 н по соляной кислоте. Германий определяется колориметрическим методом с фенилфлуороном с помощью фотоэлектроколориметра. Точность метода находится в пределах от 5 до 15% при определяемых количествах германия 0,010—0,005% в золе угля.

По этой методике наша лаборатория работает с 1958 г., проводя исследования с обогащенными углями бассейнов № 1 и 2. О точности

применяемого метода можно судить по результатам параллельных химических определений (табл. 1) и по сравнительным данным химического и спектрального анализа (табл. 2), полученным в нашей лаборатории и лаборатории спектрального анализа ИГД СО АН СССР.

Таблица 1
Результаты параллельных химических определений

Характеристика угля	Пробы параллельные				Расхождение определений в относительных %
	содержание германий, %				
	в угле	в зольном остатке	в угле	в зольном остатке	
Бассейн № 1	0,00189	0,0650	0,00165	0,0570	12,50
То же	0,00064	0,0220	0,00070	0,0240	8,40
>	0,00117	0,0405	0,00123	0,0425	4,50
>	0,00087	0,0300	0,00081	0,0280	6,70
Бассейн № 2	0,00361	0,1200	0,00352	0,1170	2,50
То же	0,00367	0,1220	0,00377	0,1250	2,00
>	0,00346	0,1150	0,00374	0,1240	7,00
>	0,00680	0,2260	0,00620	0,2060	9,00
>	0,000177	0,0059	0,000186	0,0062	4,80
				ср.	6,40

Как видно из приведенных в табл. 1 и 2 данных, сходимость параллельных опытов по данным химических анализов вполне удовлетворительная: в большинстве определений расхождение между опытами менее 10% и только в одном определении оно достигает 12,5%. Среднее от-

Таблица 2
Сравнительные данные
химического и спектрального анализов

Наименование проб	Содержание германия в % по данным анализов			Расхождение определений в относительных %	
	химического		спектрального		
	в угле	в зольном остатке			
Зола легких фракций каменных углей	0,00400	0,1330	0,1300	2,00	
Полукок	0,00319	0,1060	0,1150	8,00	
	0,00680	0,2260	0,2100	7,00	
	0,00400	0,1330	0,1300	2,00	
Шлак	0,00009	0,0032	0,0035	9,00	
>	0,00015	0,0050	0,0045	10,00	
Исходный уголь	0,00282	0,0940	0,1000	6,00	
Зола фильтра	0,00319	0,1060	0,1300	18,40	
				ср.	7,80

клонение составляет 6,4%. Расхождение по сравнительным данным химического и спектрального анализа колеблется в пределах от 2,0 до 18,40% и в среднем составляет 7,80%. В большем количестве определенный расхождение не превышает 10%.

Помимо такого контроля, полученные данные сравнивались с результатами других методик, в частности Украинского филиала Гиредмет [5] и ВНИИУ [6]. Результаты сравнения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительные данные о содержании германия в углях, полученные по различным методикам

Содержание германия в %, полученное по методике						Расхождение в % между данными колонок	
лаборатории обогащения ИГД СО АН СССР		Украинского филиала Гиредмет		ВНИИ углеобогащения		1 и 2	1 и 3
в угле	в зольном остатке	в угле	в зольном остатке	в угле	в зольном остатке		
0,00352	0,117	0,00330	0,110	0,00319	0,106	6,00	9,50
0,00357	0,122	0,00346	0,115	0,00337	0,112	5,70	8,00
0,00195	0,055	0,00180	0,060	0,00177	0,059	7,70	9,00
Ср.						6,47	8,83

Как видно из табл. 3, ускоренный метод достаточно точен, так как данные сопоставления дают вполне удовлетворительную сходимость. Преимущество ускоренного метода заключается в том, что он позволяет

Таблица 4

Влияние величины навески на содержание германия в угле

Навеска угля 0,5 г		Навеска угля 3,0 г		Расхождение в относительных %
Найдено германия, %				
в угле	в зольном остатке	в угле	в зольном остатке	
0,00252	0,0835	0,00267	0,0885	5,60
0,00278	0,0925	0,00315	0,1050	11,90

получать результаты анализа на второй день и не нуждается в платиновой посуде. В ходе работы нами были внесены некоторые изменения в методику лаборатории обогащения ИГД СО АН СССР, которые касаются величины навески угля, подлежащего определению на германий, метода озоления угля и отгонки германия из 6 н HCl в присутствии фосфорной кислоты, которая вводится в дистилляционную колбу для удержания олова и молибдена в остатке. Кроме того, в методике ИГД предлагается пользоваться раствором 6 н щелочи для нейтрализации взятых для колориметрирования объемов отогнанных растворов, содержащих германий, до

Таблица 5

Сравнение результатов анализа, полученных по разным методам

№ проб	Содержание германия в %, полученное по методике						Расхождение в % между данными колонок	
	ТЭИ СО АН СССР		ИГД СО АН СССР		ВНИИУ		1 и 2	1 и 3
	в угле	в зольном остатке	в угле	в зольном остатке	в угле	в зольном остатке		
1	0,00325	0,1080	0,00327	0,1090	0,00315	0,1050	0,50	2,70
2	0,00620	0,2060	0,00640	0,2130	0,00607	0,2010	3,00	2,50
3	0,00290	0,0965	0,00319	0,1060	0,00320	0,1000	9,80	9,00

кислотности 1 н по HCl, что, помимо затраты времени и реактивов, совершенно излишне, так как при доведении объема колориметрируемого раствора до 25 мл кислотность не получается выше положенной, т. е. 1,0-1,5 н по HCl.

При работе с навесками угля большими, чем предполагается в методике ИГД, содержание германия в тех же пробах получается большим,

но ошибка определения не выходит за пределы точности, что видно на примере данных табл. 4.

Проверка показала, что данные о содержании германия, полученные с учетом внесенных нами изменений, хорошо совпадают как с данными, полученными по методике ИГД СО АН СССР, так и с данными, полученными по методике ВНИИУ. Результаты проверки приводятся в табл. 5.

С учетом сказанного выше методика определения германия в обогащенных углях представляется нами в следующем виде.

ХОД АНАЛИЗА

Навеску угля весом от 0,5 до 3 г (в зависимости от предполагаемого содержания германия в пробе) измельчают до размеров частиц, соответствующих аналитической пробе (не более 0,2 мм), после чего ее вводят в холодный муфель в фарфоровой чашке, лодочке или противне. Муфель постепенно нагревают до температуры 550°С, при которой производится озоление с постоянной подачей воздуха, свободно протекающего через открытую дверцу муфеля и отверстие в задней его стенке, предназначенное для термодары. В указанных условиях озоление продолжается не более 2 ч. Полученный зольный остаток взвешивают на аналитических весах и рассчитывают зольность угля при 550°С в процентах. Затем золу переносят в дистилляционную колбу емкостью 50 мл с помощью 15 мл 6 н соляной кислоты и 1 мл фосфорной кислоты. Колбу соединяют с елочным дефлегматором и шариковым холодильником, конец которого погружен в приемник, содержащий 1—3 мл дистиллированной воды. Проверив герметичность дистилляционной установки, отгоняют 12 мл тетра-хлорида германия на небольшом пламени. Споласкивают холодильник небольшими порциями дистиллированной воды, прибавляя их в тот же приемник, и перемешивают. Германий определяют в аликвотном количестве полученного солянокислого раствора германия колориметрическим фенилфлуороновым методом. Для этого отбирают в мерную колбочку на 25 мл от 5 до 10 мл испытуемого раствора (в зависимости от предполагаемого содержания германия в пробе), добавляют 1,5 мл 1%-ного раствора желатина и 1,5 мл 0,05%-ного спиртового раствора фенилфлуорона и 1 н соляной кислоты до метки, все тщательно перемешивают и оставляют стоять на час для развития окраски. Оптическую плотность окрашенных растворов измеряют в кювете 20 мм по отношению к раствору с нулевым содержанием германия, пользуясь зеленым стеклянным светофильтром фотоэлектроколориметра типа ФЭК-М. Строят график, откладывая на оси ординат найденную оптическую плотность, а на оси абсцисс — количество германия в микрограммах. Находят оптическую плотность 3—4 серий стандартных растворов, и для построения калибровочной кривой берут надежные средние значения. Количество германия в испытуемом растворе определяют по калибровочной кривой.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕРМАНИЯ В МНОГОЗОЛЬНЫХ КАМЕННЫХ И БУРЫХ УГЛЯХ

Ускоренный метод определения германия в многозольных углях, предложенный кафедрой химии МГИ [11], заключается во вскрытии силикатной части зол углей с помощью сиропообразной фосфорной кислоты, вместо плавиковой кислоты, предлагаемой В. А. Назаренко [5]. Такая замена, помимо сокращения времени проведения анализа, позволила освободиться от необходимости пользоваться платиновой посудой, недостаток которой нередко затрудняет работу. Проверка, проведенная кафедрой

рой химии МГИ на различных марках углей, показала, что такая замена вполне оправдана, так как дает хорошие результаты: расхождения в определениях германия при разных способах вскрытия лежат в пределах ошибок, даваемых методикой анализа, и не превышают 8%.

По схеме МГИ нами были проанализированы четыре различные пробы угля и результаты сравнены с данными о содержании германия в этих же пробах, полученных по предлагаемой нами видоизмененной схеме МГИ. Результаты сопоставления приводятся в табл. 6.

Как следует из табл. 6, внесенное нашей лабораторией видоизмене-

Таблица 6
Сравнительные данные о содержании германия в углях, полученные по схемам кафедры химии МГИ и ТЭИ СО АН СССР

Наименование пробы	Содержание германия в %, полученное по схеме				Расхождение в относительных %
	кафедры химии МГИ		ТЭИ СО АН СССР		
	в угле	в зольном остатке	в угле	в зольном остатке	
Г	0,000607	0,0056	0,000595	0,0055	1,70
Д	0,00073	0,0040	0,00069	0,0038	5,00
Б I	0,00143	0,0070	0,00143	0,0070	0,00
Б II	0,00014	0,0012	0,00014	0,0012	0,00

ние в ход анализа углей, предложенного МГИ, не снижает точности определений. Данные сопоставления дают вполне удовлетворительную сходимость.

Видоизменение, внесенное нами в методику МГИ по определению германия в углях, заключается в замене способа озоления угля с окислительными смесями озолением по упрощенному методу с применением естественной тяги воздуха, что значительно сокращает время анализа и упрощает его проведение.

Разложение пробы и ее дальнейший анализ производят так, как это описано в работе кафедры химии МГИ.

ВЫВОДЫ

1. На основании ознакомления с литературой по химическим методам определения германия выбраны и доработаны в применении к углям и продуктам их сжигания следующие два ускоренных метода: а) метод лаборатории обогащения ИГД СО АН СССР, разработанный применительно к обогащенным углям; б) метод кафедры химии МГИ, разработанный применительно к многозольным каменным и бурым углям.

2. Внесенные нами в обе методики некоторые изменения и дополнения упрощают проведение анализов и дают значительную экономию во времени, не снижая точности определений.

3. Оценка точности результатов, полученных по нашему методу, показала, что расхождения в определении германия между параллельными определениями и при сравнении с другими методами не превышают 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. В. Арефьева, А. А. Позднякова, Р. Г. Пац, Обогащение и металлургия цветных металлов. Сб. научных трудов, № 8, Гинцветмет, 1953.
2. H. Nischida. Japan Analyst, 5, 17 (1956); Z. anal. Chem., 154, 53 (1957).
3. A. Cissars. Zentralbl. Mineral geol., Paläontol. Abt. A., № 8, 328 (1930).
4. H. Nisenda. Japan Analyst, 5, 389 (1956); Anal. Abst., 4, № 2, 441 (1957).
5. В. А. Назаренко, Н. В. Лебедева, Р. В. Равицкая, Метод определения германия в рудах, углях и промышленных отходах. Завод. лабор. XXIV, 1, 9, 1958.
6. В. С. Каминский, С. Я. Лейтес, Колориметрическое определение германия и галлия в углях. Бюро технической информации, 1958.
7. А. К. Бабко, Ф. Г. Жаровский, Применение экстрагирования в неорганическом анализе. Завод. лабор. XXV, 1, 1959.
8. Экстракционные системы и методики аналитического определения некоторых металлов. Химия и химическая технология, 6, 1959.
9. В. Гиллебранд, Г. Лендель, Практическое руководство по неорганическому анализу. Госхимиздат, 1957.
10. Ф. А. Барышников, И. Л. Рузинова, В. Я. Федосова, К вопросу методики определения германия в каменном угле. Изв. СО АН СССР, № 5, 1959.
11. С. А. Гордон, А. Н. Александрова, Определение германия в углях и продуктах их переработки. Сб. научных трудов МГИ, № 27, 1959.

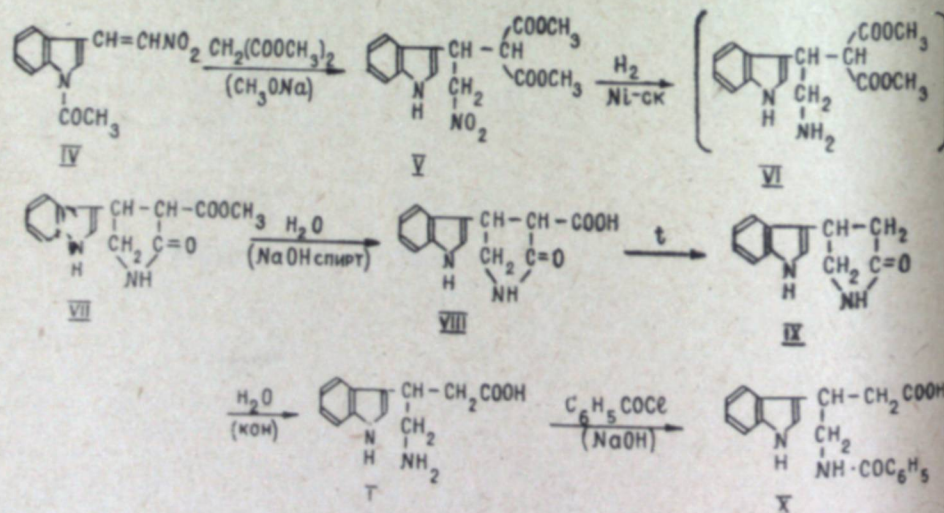
В. П. МАМАЕВ, О. А. РОДИНА

АМИНОКИСЛОТЫ ИНДОЛЬНОГО РЯДА.
СИНТЕЗ γ -АМИНО- β -(3-ИНДОЛИЛ)-МАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

Триптофан (индолил-аланин) широко распространен в природе и имеет важное биологическое значение; возможно, что с ним генетически связаны многие природные соединения индольной структуры [1]. Кроме того, имеются данные о повышенном содержании триптофана в белке клеток злокачественных новообразований [2] и в крови организма, пораженного саркомой [3]. Все это побудило исследовать различные аналоги триптофана [4—12].

Нам представляется интересным синтезировать изомерные аминокислоты (3-индолил)-масляные кислоты, на примере которых можно получить некоторые данные о взаимосвязи строения молекулы и ее биологического действия. Из интересующих нас аминокислот индольного ряда в литературе описаны α -амино- γ -(3-индолил)-масляная [11] и α -амино- β -(3-индолил)-масляная кислоты [12].

В настоящей работе описано получение γ -амино- β -(3-индолил)-масляной кислоты (I), которая содержит группировки триптамина и 3-индолилпропионовой кислоты — веществ, обладающих интересным биологическим действием [13, 14] (см. схему синтеза). Аминокислота (I)



принадлежит к ряду γ -аминокислот и, следовательно, может легко образовывать γ -лактамы, т. е. замещенный пирролидон. Среди γ -аминокислот и пирролидонов есть также соединения, обладающие биологической активностью [15, 16].

Для получения γ -амино- β -(3-индолил)-масляной кислоты (I) был выбран метод получения γ -аминокислот, детально разработанный В. В. Перекалиным и сотрудниками [17], основанный на восстановлении

продуктов конденсации непредельных нитросоединений с веществами, содержащими подвижные атомы водорода. В данном случае мы использовали описанный в литературе [18] 1-ацетил-3-(2'-нитровинил)-индол (IV) и натриевое производное диметилового эфира малоновой кислоты. Такой выбор исходного вещества объясняется тем, что нитровинильное производное индола (IV) с ацетильной группой у кольцевого атома азота более доступно, легко вступает в реакцию конденсации, а затем N-ацетильная группа легко может быть удалена. В нашем случае N-ацетильная группа гидролизуется уже в процессе выделения продукта конденсации — метилового эфира α -карбометокси- β -(3-индолил)- γ -нитро-масляной кислоты (V). Последний был восстановлен водородом в присутствии скелетного никелевого катализатора при комнатной температуре. В условиях нашего опыта образующийся метиловый эфир α -карбометокси- β -(3-индолил)- γ -аминомасляной кислоты (VI), вероятно, сразу превращается в соответствующий циклический амид — 3-карбометокси-4-(3'-индолил)-пирролидон-2 (VII).

Гидролиз пирролидона (VII) спиртовой щелочью гладко проходит с образованием продукта, который не растворяется в разбавленных минеральных кислотах и не бензоилируется, что соответствует замещенной пирролидонкарбоновой кислоте (VIII), а не аминокислоте.

При кипячении VII в водном растворе HCl или H₂SO₄ происходит одновременное омыление сложноэфирной группы и декарбоксилирование с образованием γ -амино- β -(3-индолил)-масляной кислоты (I), но с плохим выходом, так как при этом большая часть вещества осмоляется. Поэтому мы декарбоксилировали пирролидонкарбоновую кислоту (VIII), осторожно нагревая ее на масляной бане при температуре выше ее температуры плавления на 1—5°; затем при кипячении в водном растворе едкого натра происходило размыкание пирролидонового кольца с образованием аминокислоты (I). Выделение аминокислоты (I) проводили на ионообменной смоле Дауэкс 50 W.

Полученная γ -амино- β -(3-индолил)-масляная кислота (I) — бесцветный мелкокристаллический порошок с т. пл. 218—219°, легко растворимый в разбавленных кислотах и щелочах, трудно растворимый в воде, спирте и ацетоне. Аминокислота (I) охарактеризована получением бензоильного производного (X). При хроматографировании на бумаге (хроматографическая бумага «Б», хроматограмма нисходящая) в системе бутанол : муравьиная кислота : вода = 12 : 3 : 5, (по объему) R_f = 0,30. С нингидрином аминокислота (I) дает фиолетовое окрашивание, с п-диметиламинобензальдегидом — розовое.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Индол-3-альдегид (II). Получен по методу Смита [19] при взаимодействии индола с диметилформамидом в присутствии хлорокиси фосфора; выход 94,3%; т. пл. 197—198°; по литературным данным [19] — т. пл. 197—199°.

1-Ацетилиндол-3-альдегид (III). Получен по методике Майимы и Котакэ [18] с выходом 82%; т. пл. 164—165°; по литературным данным [18] — т. пл. 161—164°.

1-Ацетил-3-(2'-нитровинил)-индол (IV) [20]. Раствор 1-ацетилиндол-3-альдегида (35,4; 0,2 г · моль) в избытке нитрометана (100 мл), содержащем уксуснокислый аммоний (8 г), нагревали 10 мин при 95—97°. При охлаждении медленно выпадали светло-желтые иглы IV (21,2 г; 46%), которые после перекристаллизации из этанола плавилась при температуре 187—188°; по литературным данным [18] — т. пл. 189—192°.

И. Н. ШАБАЛИН

ПОВЫШЕНИЕ САХАРИСТОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ОРОШЕНИИ В КУЛУНДИНСКОЙ СТЕПИ

Орошение сахарной свеклы является мощным фактором повышения ее урожайности. В Киргизии, где сосредоточены наибольшие площади орошаемой свеклы (75 тыс. га из 95 тыс. га по СССР), в отдельных хозяйствах и бригадах выращивают высокие урожаи — по 450—550 ц/га. Средний урожай свеклы по Киргизской ССР составил в 1957 г. 377 и в 1958 г. 383 ц/га, по Казахской ССР — около 300 ц/га [1]. В Казахстане передовые звенья при орошении добивались рекордных урожаев. В колхозе «1 Мая» О. К. Гонаженко в 1949 г. получила 1518 ц/га.

В Ростовской области на полях областной опытно-мелиоративной станции при орошении по лучшим вариантам урожай свеклы достигал 920 ц/га [1]. На Украине средний урожай свеклы без орошения составляет 190—200 ц/га, в то время как при орошении — не ниже 400—500 ц/га, т. е. в 2—3 раза больше; на Брилевской опытной станции Херсонской области, Каменско-Днепровской опытной станции Запорожской области урожаи достигают 700—800 ц/га [2].

В Западной Сибири на орошаемых землях в Алейской степи лучшие звенья получают свыше 500 ц/га (в Рубцовском свеклосовхозе — 550 ц/га; в колхозе «Красная заря» — 507 ц/га).

В наших исследованиях в Кулундинской степи при орошении урожай свеклы достигали 400 ц/га и более [3], в то время как без орошения в сухие годы невозможно получить даже всходов. Однако при орошении наряду с повышением урожайности нередки случаи снижения сахаристости. Особенно это стало отмечаться при все большем внедрении посева свеклы с широкими междурядьями (60 см) и квадратно-гнездовом способе [2,4—7].

В Киргизии в отдельные годы, как отмечает П. В. Пресняков [4], и при обычном рядовом способе посева при орошении сахаристость свеклы была низкая (1957 г. — 16,4%, в 1958 — 15,1%). В Казахстане значительное снижение сахаристости в орошаемых условиях наблюдалось при квадратном и квадратно-гнездовом способах посева [6]. Пятилетние сравнения квадратно-гнездового способа выращивания с обычным на Ганусовской опытно-селекционной станции Белорусской ССР показали, что и без орошения квадратно-гнездовой посев способствует снижению сахаристости [5]. При этом установлен, что не все сорта в одинаковой степени отзывчивы по урожаю и сахаристости на увеличение площади питания.

Физиологическая природа сахаристости, в частности снижение ее при орошении, как указывает А. С. Оканенко [8], еще мало известна нам, и в этом направлении необходимы исследования физиологов, биохимиков и других специалистов. Однако многие факторы среды, способствующие снижению сахаристости, уже выяснены.

И. А. Абугалиев [6], изучавший особенности роста и развития сахарной свеклы в условиях орошения в Казахской ССР, указывает, что при квад-

ратном и квадратно-гнездовом способах выращивания у растений повышается общая жизнедеятельность. Растения при этом растут с большой интенсивностью, что, по мнению И. А. Абугалиева, приводит к замедлению биологической спелости корня. Одним из показателей этого является то, что на головке корня, помимо основных почек, пробуждаются боковые, из которых образуется большое количество дополнительных листьев, а это приводит к разветвлению корня и снижению содержания сахара. Чем больше корней с боковыми почками и отходящими от них листьями, тем ниже сахаристость корней. Отрицательное влияние обильного вторичного нарастания листьев на сахаристость отмечает и О. Ф. Топчиева [2].

На тесную связь метеорологических факторов в предуборочный период и сахаристостью указывает Е. Н. Алексеева [9]. Сопоставление многолетних данных о сахаристости с такими метеорологическими факторами, как сумма осадков, температура воздуха, освещенность за последние 30 дней до уборки свеклы, показало, что, чем больше бывает тепла и света и меньше выпадает осадков за этот период, тем выше сахаристость и наоборот. Эти выводы согласуются с исследованиями А. Е. Максимовича [10], установившего, что корни с более высоким содержанием сахара в сырой массе имеют меньший процент воды и наоборот. Уменьшение содержания воды в корне свеклы в течение вегетации является результатом сложных физиолого-биохимических превращений, происходящих под влиянием климатических, агротехнических и других условий среды, обуславливающих постоянное уменьшение водопоглощающей и водоудерживающей способности тканей.

Для интенсивного роста листьев и корня требуется обводненность тканей, жизнедеятельность листьев, активное накопление азота и зольных элементов и ряд других условий. Но чтобы содержание сахара в конце вегетации повысилось, требуется снижение обводненности тканей корня, замедление накопления питательных веществ и другие изменения, сопутствующие завершению вегетации свеклы [10].

Сахаристость при орошении снижается и потому, что условия орошения увеличивают интенсивность ростовых процессов, при этом питательных веществ в почве не хватает. Для получения высоких урожаев необходимы дополнительные удобрения.

Эффективным способом повышения урожайности и сахаристости является своевременное выполнение всех мероприятий высокой агротехники и в первую очередь полное удовлетворение свеклы необходимыми питательными элементами на всех стадиях развития.

Академик П. А. Власюк [11] считает, что внешняя среда играет огромную роль в повышении сахаристости, в частности размещение свеклы в севообороте по лучшим предшественникам, регулирование условий ее питания, лучший способ посева, уход за растением и др. Особую роль в повышении урожая и сахаристости он отводит удобрениям. Сахарная свекла должна высеиваться на высококультурном фоне, богатом органическими и минеральными удобрениями. Положительно влияют на сахаристость марганцевые удобрения, сорбенты, внекорневые подкормки.

При разработке рационального водного и пищевого режимов для сахарной свеклы при орошении в Кулундинской степи нами изучались и вопросы повышения ее сахаристости. Исследования проводились на орошаемом участке-стационаре, расположенном в наиболее засушливом районе Кулунды—Ключевском Алтайского края, на землях колхоза «Маяк». Орошение производилось подземными водами из высокодебитного колодца. Почва участка каштановая, легкого механического состава, содержащая около 3% гумуса. Метровый слой характеризуется следующими водно-физическими свойствами: объемный вес 1,45—1,61%,

удельный вес 2,6—2,63, влажность завядания 2,8—3,75, предельная полевая влагоемкость 11,1—12,9% от веса почвы. Грунтовые воды залегают на глубине 3—3,2 м*.

Для повышения урожайности и сахаристости при орошении нами применялись минеральные удобрения, вносимые в почву, внекорневые подкормки азотом и микроэлементами и бактериальные удобрения. Эффективность применения минеральных удобрений под сахарную свеклу при орошении изучалась нами как в опытах по выявлению лучших режимов орошения сахарной свеклы, так и в специально закладываемых с этой целью полевых опытах. Влияние минеральных удобрений на повышение урожая корней и сахаристости хорошо прослеживалось в опытах по изучению режима орошения. Данные по некоторым вариантам приводятся в табл. 1. Повторность опытов четырехкратная, размер делянок

Таблица 1

Влияние орошения и удобрений на урожай корней сахарной свеклы и сахаристость в условиях Кулунды

№ варианта	Варианты опыта	Кол-во поливов	Оросит. норма, м ³ /га	Урожай, ц/га	% сахара	Сбор сахара, ц/га	Примечания
1954 г.							
1	Контроль (без орошения, без удобрения)	—	—	185,4	16,8	31,2	Третий вариант получил подкормку 20/VII (аммиачной селитры 0,5 и суперф. 1,5 ц/га)
2	Орошение при 70% от полевой влагоемкости без удобрения	4	2000	311,6	16,2	50,5	
3	Орошение при 70% от полевой влагоемкости с удобрением	4	2000	351,0	16,8	59,0	
1955 г.							
1	Один послепосевной полив	1	500	165	18,2	30,0	Все варианты удобрены только при посеве вместе с семенами (аммиачной селитры 0,5 и суперф. 1,5 ц/га).
2	Орошение по периодам роста, при 50—70—50% от полевой влагоемкости	6	3500	341	17,0	58,0	
3	Орошение по периодам роста при 70—70—70% от полевой влагоемкости	10	5400	258	16,4	42,3	
1956 г.							
1	Контроль (без орошения)	—	—	85,5	20,6	17,6	Удобрения вносились под все варианты при посеве (суперф. 1,5 ц/га) и в период вегетации 5/VI аммиачной селитры 0,5 и суперф. 1,5 ц/га).
2	Орошение по периодам роста при 50—50—50% от полевой влагоемкости	3	4046	322,6	20,1	64,9	
3	Орошение по периодам роста при 50—70—50% от полевой влагоемкости	4	5375	391,0	19,0	74,3	
4	Орошение по периодам роста при 70—70—70% от полевой влагоемкости	5	6384	431,3	18,1	78,3	
1957 г.							
1	Орошение по периодам роста при 70—70—70% от полевой влагоемкости без удобрений	5	5220	284,0	17,5	50,0	Второй вариант удобрялся при посеве (суперф. 1,0 ц/га) и подкормкой (аммиачной селитры 0,5 и суперф. 1,5 ц/га).
2	Орошение по периодам роста при 70—70—70% полевой влагоемкости с удобрением	5	5574	367,0	18,3	67	

* В 1954—1956 гг. в исследованиях принимал участие А. И. Снытко.

200—250 м². Учетная площадь 100 м². Полив производился в первый период развития по полосам, а позже — по бороздам. Посев рядовой с междурядьями, в 1950 г. — 50 см, а в остальные годы — 44,5 см.

В 1954 г. неорошаемая свекла (контроль) и один из орошаемых вариантов не удобрялись (варианты 1, 2), а один из орошаемых вариантов (вариант 3) 20 июля получил подкормку минеральными удобрениями в дозе аммиачной селитры 0,5 и суперфосфата 1,5 ц/га. Удобрения повысили урожай корней на 39,4 ц/га против урожая такого же орошаемого варианта, но неудобренного. Сахаристость была выше на 0,6% и равнялась сахаристости неорошаемой свеклы (см. табл. 1).

В 1955 и 1956 гг. удобрения вносились под все варианты в одинаковой дозе: в 1955 г. — только при посеве в рядки вместе с семенами (аммиачной селитры 0,5 и суперфосфата 1,5 ц/га), а в 1956 г. — в два срока; при посеве в рядки с семенами внесено суперфосфата по 1,5 ц/га и в период вегетации 5 июня в виде подкормки аммиачной селитры 0,5 и суперфосфата 1,5 ц/га. Все варианты, как видно из табл. 1, имеют довольно высокий процент сахара, однако по мере увеличения числа поливов сахаристость снижается. В 1955 г. был крайне засушливым, за весь год выпало 190 мм осадков, а за вегетационный период 107 мм при повышенных температурах воздуха и частых ветрах. В этих условиях для поддержания в почве 70% влажности от полевой влагоемкости пришлось дать 9—10 поливов. Однако такое количество поливов способствовало вымыванию подвижных форм питательных веществ, и при этих условиях получены более низкий урожай корней и процент сахара (258 ц/га при сахаристости 16,4%), чем у варианта, получившего 6 поливов (341 ц/га при сахаристости 17%).

В 1957 г. два варианта получили по 5 поливов примерно с одинаковой оросительной нормой, но один из них не был удобрен, а другой удобрен минеральными туками при посеве в рядки с семенами (суперфосфата 1 ц/га) и в период вегетации (аммиачной селитры 0,5 и суперфосфата 1,5 ц/га).

Внесение удобрений повысило урожай на 83 ц/га и сахаристость на 0,8%. Таким образом, четырехлетние исследования показали: а) увеличение числа поливов без применения удобрений повышает урожай корней лишь до определенного предела, при этом сахаристость свеклы понижается, дальнейшее увеличение поливов снижает не только сахаристость, но и урожай; б) применение удобрений при орошении способствует повышению не только урожая корней, но и сахаристости и позволяет получать корни с нормальными для данного района возделывания процентом сахара; в) увеличение нормы и числа поливов должно сопровождаться и повышенной нормой удобрений свеклы.

Наряду с применением минеральных удобрений, вносимых в почву в настоящее время, широко применяется удобрение растений нанесением на поверхность листа так называемых внекорневых подкормок. Этим способом подкармливаются растения в тот период, когда внесение удобрений в почву сопряжено с техническими трудностями: невозможностью прохода машин или необходимостью повышения жизнедеятельности растения в завершающий период развития. Внекорневым способом удобряют как обычными элементами питания — азотом, фосфором; калием, так и редкими — микроэлементами.

В нашей стране внекорневые подкормки, в том числе и микроэлементы, широко изучают и пропагандируют Ф. Ф. Мацков, М. Я. Школьник, Я. В. Пейве, П. А. Власюк, И. В. Якушкин, М. М. Эдельштейн и другие [11—16].

Многочисленные исследования, проведенные П. А. Власюком и его сотрудниками, показали положительное влияние внекорневых подкормок

микроэлементами, в особенности марганцем, на повышение урожая и сахаристости свеклы. В опытах, проведенных П. А. Власюком совместно с сотрудниками Каменско-Днепровской опытной станции в орошаемых условиях, внекорневая подкормка сахарной свеклы серноокислым марганцем повысила урожай и сахаристость. При этом весьма эффективным оказалось совместное действие настоя суперфосфата с серноокислым марганцем (см. [12]).

Влияние бора, цинка, марганца и меди на урожай, сахаристость и плодоношение при орошении в условиях Казахстана изучали Н. В. Ковалева и М. Г. Сагитова [17].

Микроэлементы вносились при посеве намачиванием семян и внекорневым способом. Наибольший эффект дали бор и медь и несколько меньший — марганец и цинк. Бор и медь повысили сахаристость (на 1%) и плодоношение. При этом предпосевная обработка семян оказалась более выгодной в сравнении с внекорневым внесением. Применение микроэлементов в целях повышения сахаристости при орошении и квадратно-гнездовом способе возделывания в Алма-Атинской области изучалось Д. В. Васильевой [18]. Ставились вегетационные и полевые опыты. Применялись бор, марганец и медь внесением в почву, предпосевным намачиванием семян, корневой и внекорневой подкормкой. Марганец повышал урожай и сахаристость при замачивании семян и внекорневых подкормках. При корневой подкормке повышался урожай и снижалась сахаристость. Бор повышал урожай и сахаристость при замочке семян и внекорневой подкормке, медь — при внекорневой подкормке. Положительное влияние бора и молибдена на семенную продуктивность сахарной свеклы при орошении в одном из совхозов Тамбовской области отмечают В. М. Бунин и Т. А. Данилова [19], бормагниевого отходов и молибдена — Ю. А. Потатуева [20].

Уже из этого короткого перечня работ видно, что микроэлементы в условиях орошения оказывают большое влияние на повышение качества урожая. Однако опытов по изучению эффективности микроудобрений в различных почвенно-климатических условиях еще мало, а при орошении в Сибири совсем нет.

Нами влияние микроэлементов на сахаристость при орошении изучалось в полевых опытах в течение трех лет (1955—1957). Микроэлементы вносились внекорневым способом на делянки 20 м² в 2—4-кратной повторности при различных режимах орошения. Применялись следующие микроэлементы: бор, марганец, молибден, магний, литий, медь, кобальт. Концентрация раствора для всех солей бралась одна: 0,05% из расчета 500—600 л на гектар. Раствор микроэлементов наносился на листья свеклы один раз за 25—28 дней до уборки в вечернее время из ранцевого опрыскивателя. В период уборки с каждой полевой повторности для определения сахаристости отбирались две пробы по 40 корней. Сахаристость определялась сахариметром. В 1955 и 1956 гг. подкормка микроэлементами производилась на посевах свеклы, где в течение вегетации поддерживалась влажность почвы около 70% от полевой влагоемкости. В 1955 г. микроэлементами подкармливалась свекла, удобренная макроэлементами, внесенными при посеве в рядки с семенами (аммиачной селитры 0,5 и суперфосфата 1,5 ц/га), а в 1956 г. при посеве (суперфосфата 1,5 ц/га) и в период вегетации в качестве подкормки (аммиачной селитры 0,5 и суперфосфата 1,5 ц/га). В 1957 г. подкормка микроэлементами проводилась на свекле, получавшей разное количество поливов с применением минеральных удобрений и без удобрений. На удобренном фоне минеральные удобрения вносились в два срока при посеве (супер-

Таблица 2
Влияние внекорневых подкормок микроэлементами и азотом на сахаристость сахарной свеклы при орошении

Варианты опыта	1955 г.			1956 г.			1957 г.			Средняя за 3 года								
	6 поливов удобр. фон	при- бавка, %		4 полива удобр. фон	при- бавка, %		5 поливов удобр. фон	при- бавка, %		5 поливов неудобр. фон	при- бавка, %		3 полива удобр. фон	при- бавка, %		средняя за 1957 г.	при- бавка, %	
		сахари- стость, %	при- бавка, %		сахари- стость, %	при- бавка, %		сахари- стость, %	при- бавка, %		сахари- стость, %	при- бавка, %		сахари- стость, %	при- бавка, %		сахари- стость, %	при- бавка, %
Контроль (без подкормки)	16,2	—	—	18,1	—	—	17,4	—	—	16,9	—	—	17,5	—	—	17,3	—	—
Подкормка бурой	17,4	1,2	—	18,9	0,8	—	18,3	0,9	—	19,0	2,1	—	17,7	1,5	—	18,3	1,0	—
То же марганцевокислым калием	—	—	—	18,6	0,5	—	18,0	0,6	—	17,8	0,9	—	18,9	1,4	—	18,2	0,9	—
» молибденовокислым аммонием	—	—	—	—	—	—	17,4	0,0	—	19,0	2,1	—	19,0	1,5	—	18,5	1,2	—
» азотнокислым магнием	16,5	0,3	—	18,9	0,8	—	18,0	0,6	—	17,8	0,9	—	17,4	0,9	—	17,7	0,4	—
» серноокислым литием	17,7	1,5	—	18,2	0,1	—	17,8	0,4	—	17,9	1,0	—	17,7	0,2	—	17,8	0,5	—
» азотнокислой медью	16,9	0,7	—	18,2	0,1	—	17,0	0,4	—	16,0	—0,9	—	17,4	—0,1	—	16,8	—0,5	—
» серноокислой медью	17,4	1,2	—	18,2	0,1	—	17,4	0,0	—	17,0	0,1	—	17,5	0,0	—	17,3	0,0	—
» серноокислым кобальтом	17,2	1,0	—	—	—	—	17,3	0,1	—	15,6	—1,3	—	17,5	0,0	—	16,8	0,3	—
» азотнокислым кобальтом	—	—	—	18,4	0,3	—	18,3	0,9	—	17,1	0,2	—	17,3	—0,2	—	17,6	0,5	—
» азотнокислым аммонием	—	—	—	—	—	—	17,8	0,4	—	18,4	1,5	—	18,2	0,7	—	18,1	0,8	—
» серноокислым аммонием	—	—	—	—	—	—	17,8	0,4	—	18,5	1,6	—	18,3	0,8	—	18,2	0,9	—

фосфата 1 ц/га) и в период вегетации (аммиачной селитры 0,5 и суперфосфата 1,5 ц/га). Подкормка микроэлементами, как видно из табл. 2, в большинстве случаев положительно влияла на повышение сахаристости.

В 1955 и 1956 гг. все применяемые нами микроэлементы повысили процент сахара в корнях свеклы. При этом наибольшая прибавка сахаристости в 1955 г. получена от подкормки литием, бурой, серноокислой медью, а в 1956 г. — литием, медью, бурой и магнием.

В 1957 г. действие микроэлементов в большинстве случаев было положительным, однако, некоторые микроэлементы понизили сахаристость или же в одних условиях повысили, а в других (иная влажность, удобрения) понизили. Положительное действие на сахаристость во всех случаях оказали бор, марганец, молибден, литий, остальные действовали не всегда положительно. Азотнокислый магний в 1957 г. при более высокой влажности почвы (5 поливов) повысил сахаристость, а при более низкой (3 полива) понизил ее на 0,1%. Азотнокислая медь в 1957 г. на всех фонах понизила сахаристость, а серноокислая медь не оказала никакого действия. Серноокислый кобальт в 1957 г. оказал отрицательное действие на удобренном и неудобренном фоне при 5 поливах, а азотнокислый кобальт на этих же фонах повысил процент сахара.

Таким образом, на основании 3-летних исследований приходим к выводу, что некоторые элементы являются элементами постоянного действия и во все годы повышают процент сахара. Это бор, марганец, молибден, литий и магний. Средняя прибавка сахаристости за три года составила по бору 1%,

марганцу и литию 0,7, магнию 0,5, сернистой меди 0,4%. Не всегда положительное действие на сахаристость оказывали кобальт и азотнокислая медь.

В 1957 г. в наших опытах были варианты, где сахарная свекла подкармливалась внекорневым способом и азотистыми удобрениями в форме азотнокислого и сернистого аммония. Как видно из табл. 2, азот оказал положительное влияние на повышение сахаристости как на удобренном, так и на неудобренном фоне. При этом у удобренной свеклы от подкормки азотом сахаристость повысилась на 1,5%, а у удобренной — на 0,4—0,7%.

В числе средств повышения урожая и сахаристости большое значение в последнее время придается биологическим препаратам: нитрагину, азотобактерину, фосфоробактерину и др. Бактеризация семян этими препаратами увеличивает количество подвижных форм питательных веществ в почве, значительно улучшает корневое питание растений.

Многолетнее изучение применения азотобактерина под сахарную свеклу в научно-исследовательских учреждениях и производственных опытах показало его эффективность. Средняя многолетняя прибавка урожая корней от применения азотобактерина составляет 22—25 ц/га [19]. Ряд исследователей показал, что азотобактерин способствует повышению сахаристости корней сахарной свеклы [1—4].

В наших исследованиях, проведенных совместно с А. И. Снытко, влияние азотобактерина на урожай и сахаристость сахарной свеклы при орошении изучалось в течение 2 лет (1954—1955 гг.). В опытах применялся торфяной азотобактерин из расчета 3 кг на гектарную норму семян. Семена перед посевом в тени увлажнялись водой и тщательно перемешивались с азотобактерином. Для контроля семена увлажнялись такой же нормой воды. Опыт закладывался в 4-кратной повторности на делянках с учетной площадью 100 м².

В 1954 г., влажном для Кулунды, свекла поливалась 2 раза, а в 1955 г., весьма засушливом, — 5 раз, поливной нормой — 500—600 м³ на гектар. Наблюдение за динамикой нарастания листьев, корней и накопления сахаристости показало, что азотобактерин положительно влиял на свеклу в течение всего периода вегетации. Внесение азотобактерина, как видно из табл. 3, повысило урожай корней на 30—33 ц/га и сахаристость на 0,5—0,9%.

Таблица 3

Влияние азотобактерина на урожай и сахаристость сахарной свеклы

Варианты	Урожай, ц/га	Прибавка урожая		% сахара	Сбор сахара, ц/га	Прибавка сбора сахара	
		ц/га	%			ц/га	%
1954 г.							
Контроль (без удобрения)	255	—	—	16,7	42,6	—	—
Удобрение азотобактерином	299	33	13	17,6	50,7	8,1	14
1955 г.							
Контроль (без удобрения)	200	—	—	16,3	32,6	—	—
Удобрение азотобактерином	230	30	15	16,84	38,7	6,1	19

Таким образом, применение минеральных удобрений, вносимых в почву при посеве и в течение вегетации, внекорневых подкормок микроэлементами, азотом и бактериальными удобрениями позволяет при орошении получать не только высокий урожай сахарной свеклы, но и высокий про-

цент сахаристости. Однако в дальнейшем необходимо исследовать совместное применение всех средств повышения урожая и сахаристости при орошении и найти более благоприятное их сочетание.

Центральный Сибирский Ботанический сад
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
28/XI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Александрин, Е. Г. Александрина, Опыт возделывания сахарной свеклы на орошаемых землях. Сахарная свекла, 1960, № 11.
2. О. Ф. Топчиева, Эффективность возделывания сахарной свеклы в условиях орошения. Сахарная свекла, 1960, № 12.
3. И. Н. Шабалин, Создание участков гарантированного урожая в Кулунде. Тр. Особой комплекс. экспед. по землям нового освоения, т. 2, Изд-во АН СССР, 1960.
4. П. В. Пресняков, Повышение урожайности и сахаристости свеклы в условиях орошаемого земледелия. Сахарная свекла, 1960, № 4.
5. Н. П. Вострухина, Влияние квадратно-гнездового способа на урожай и сахаристость различных сортов сахарной свеклы. Сахарная свекла, 1960, № 11.
6. И. А. Аbugалиев, Почему снижается сахаристость свеклы. Сахарная свекла, 1960, № 8.
7. Н. А. Ничипоренко, О ширине междурядий в условиях орошения. Сахарная свекла, 1959, № 3.
8. А. С. Оканенко, Использование физиологических и биохимических особенностей различных форм свеклы для повышения сахаристости. Тр. пленума секции техн. культур ВАСХНИЛ 23—25 ноября 1954 г. Сельхозгиз, 1957.
9. Е. Н. Алексеева, Влияние метеорологических факторов в предуборочный период на сахаристость свеклы. Сахарная свекла, 1960, № 9.
10. А. Е. Максимович, Зависимость между сахаристостью корней сахарной свеклы и обводнением тканей. Тр. пленума секции техн. культур ВАСХНИЛ 23—25 ноября 1954 г. Сельхозгиз, 1957.
11. П. А. Власюк, Приемы повышения сахаристости сахарной свеклы. Тр. пленума секции техн. культур ВАСХНИЛ 23—25 ноября 1954 г. Сельхозгиз, 1957.
12. Ф. Ф. Мацков, Внекорневое питание растений. Изд-во АН УССР, 1957.
13. М. Я. Школьник, Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии. Изд-во АН СССР, 1950.
14. М. Я. Школьник, Н. А. Макарова, Микроэлементы в сельском хозяйстве. Изд. АН СССР, 1957.
15. Я. В. Пейве, Микроэлементы в сельском хозяйстве нечерноземной полосы. Изд-во АН СССР, 1954.
16. И. В. Якушин, М. М. Эдельштейн, Внекорневая подкормка свеклы. М., 1953.
17. Н. В. Ковалева, М. Г. Сагитова, Влияние микроэлементов на урожай, сахаристость и расходование сахаров во время хранения корнеплодов сахарной свеклы. Тр. Всес. совещ. по микроэлементам, Баку, апрель, 1958. Изд-во АН Латв. ССР, 1959.
18. Д. В. Васильева, Влияние микроэлементов (Mn, B, Cu) на урожай и качество сахарной свеклы в условиях Алма-Атинской области. Тр. Всес. совещ. по микроэлементам, Баку, апрель, 1958. Изд-во АН Латв. ССР, 1959.
19. В. М. Бунин, Т. А. Данилова, Применение микроэлементов и стимуляторов роста для повышения урожая семян сахарной свеклы. Внекорневая подкормка с-х. растений. Сельхозгиз, 1955.
20. Ю. А. Потатуева, Бормагниевые удобрения повышают семенную продуктивность свеклы. Сахарная свекла, 1958, № 9.
21. И. А. Геллер, Применение биопрепаратов под сахарную свеклу. Сб. Применение бактериальных удобрений. Изд-во АН УССР, 1953.
22. И. С. Макаров, Бактериальные удобрения повышают урожай и сахаристость свеклы. Сахарная свекла, 1960, № 2.
23. А. И. Хотько, Сахарная свекла на мелиоративных торфяно-болотных почвах БССР. Тр. Ин-та мелиорат., водного и болотного хозяйства, т. 4, 1954.
24. А. С. Пискунов, Действие биопрепаратов на урожай сахарной свеклы в условиях Краснодарского края. Тр. ВНИС, т. 34, Сельхозгиз, 1959.

Т. П. НЕКРАСОВА

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО СЕМЕНОВЕДЕНИЯ

Лесное семеноведение выросло на основе лесосеменного дела, которое включает различные вопросы, связанные с добыванием семян в лесу, их хранением и последующим использованием. Переход к активным методам получения семян на специальных участках, к регулированию их урожаев и повышению качества семян знаменует превращение лесосеменного дела в лесное семеноводство, т. е. в производство семян.

Лесоводы, имеющие дело с семенами, должны глубоко вникать в их жизненную сущность, так как в этих маленьких зачатках заключены успехи и неудачи всей последующей работы по лесовыращиванию. Семени формируются под влиянием многих факторов окружающей среды и самого материнского дерева. Следовательно, чтобы понять природу семян и закономерности их образования, необходимо изучить процесс плодоношения во всей его сложной зависимости от разнообразных условий внешнего и внутреннего порядка. Все это составляет предмет лесного семеноведения — науки о лесных семенах, теории лесосеменного дела и зарождающегося лесного семеноводства.

В развитии лесного семеноведения можно наметить следующие три периода. Первый период — период накопления фактов, начало которого теряется в далеком прошлом России, это время постепенной организации лесосеменного дела, параллельно с которым формировались основные представления об урожаях древесных пород, о семенах и их свойствах.

Второй период — период заложения теоретических основ лесного семеноведения. Он связан с развитием лесокультурного дела и успехами естествознания в России в конце прошлого столетия и охватывает около 50 лет, с 90-х годов XIX в. до 30-х годов XX в.

В течение первых двух периодов были заложены основы лесного семеноведения как науки, имевшей дело с естественными лесосеменными ресурсами, без переделки природы древесных растений, без активного воздействия на семена. Работы велись преимущественно с сосной, елью, дубом; в Сибири были получены некоторые данные о плодоношении кедра и лиственницы.

Третий период — период внедрения селекции, современный. Его отличительной чертой является творческий, активный подход к решению задачи получения семян, борьба за породные качества. Этот период, начавшийся в 30-х годах, по-настоящему стал развиваться только в послевоенные годы. Характеризуя его ниже, мы очертим тем самым современное состояние основных вопросов лесного семеноведения, не ставя при этом цели подвести итоги всем предшествующим исследованиям в этой области.

За последние годы существенно расширено и углублено представление о плодоношении древесных пород, о размерах урожаев, частоте семенных лет, о географических и лесотипологических закономерностях в размещении урожаев, предложены новые методы их учета и т. д. Получены данные об основных особенностях плодоношения для всех древесных пород в разнообразных природных условиях нашей страны.

Значительных успехов достигло изучение динамики плодоношения и влияния погоды на урожай. Выдвинуто понятие о лимитирующих факторах и показано их дифференциальное значение в различных климатах, что по-новому раскрыло сущность «периодичности» урожаев и позволило приблизиться к решению проблемы прогноза урожая по погоде.

Подвергся дальнейшей разработке вопрос о влиянии географического происхождения семян на потомство. Выявлены случаи, когда лучшие результаты были получены не от местных, а от инорайонных семян. Об этом же говорят и успехи интродукции. Новая постановка вопроса предусматривает возможность культуры древесных растений за пределами их естественных ареалов.

Большое количество работ посвящено свойствам семян, особенно в связи с возрастом материнских древостоев, размером и весом шишек, крупностью, весом и цветом самих семян и т. д. Имеются исследования, показывающие влияние всех этих качеств на потомство, что подводит постепенно к решению проблемы ранней диагностики наследственных свойств древесных пород. Продолжаются исследования сроков сбора, режима хранения, способов предпосевной обработки семян.

Все перечисленные вопросы составляют классическое содержание лесного семеноведения второго периода, развернутое и углубленное на новом этапе, и являются необходимой основой развития лесосеменного дела в естественных лесных насаждениях. Продолжение научных работ этого типа более совершенными методами и применительно ко всему разнообразию природных условий страны весьма перспективно.

Но наиболее характерны для современного периода исследования, направленные на регулирование плодоношения, на производство сортовых семян, т. е. тех, которые составляют теоретическую основу лесного семеноводства. Среди них отметим следующие: 1) детальное изучение биологии плодоношения; 2) изучение формового разнообразия видов и селекция; 3) активные приемы размножения выделенных ценных форм; 4) разработка системы лесосеменных хозяйств.

Значение исследований, вскрывающих биологическую сущность процессов формирования плодов и семян, трудно переоценить. Именно они лягут в основу теории управления плодоношением и повышения урожайности или создания новых качеств с помощью селекции и гибридизации. Работы этого типа очень разносторонни. К ним относятся прежде всего многочисленные исследования этапов развития репродуктивных органов в связи с внешними условиями у дуба, лиственницы, сосны, пихты, кедра, некоторых лиственных пород (Е. Г. Минина, А. М. Манжос, Н. В. Дылис, С. С. Пятницкий, Н. А. Котелова, Т. П. Некрасова и др.).

Особенный интерес представляют работы Е. Г. Мининой, И. Д. Аникеевой, Л. Я. Полозовой и Ю. Л. Цельникер, показывающие условия половой дифференциации побегов и взаимосвязь процессов роста и развития древесных пород. Этой же цели служат детальные исследования строения кроны и размещения в ней побегов разного типа, т. е. структуры урожая отдельного дерева (Л. Ф. Правдин, Е. И. Гусева, Е. Г. Минина, Т. П. Некрасова, П. Л. Горчаковский, Е. Г. Проказин). Обобщение

всех исследований этого направления позволило Е. Г. Мининой [1] раскрыть проблему пола у древесных пород.

Овладение процессом плодоношения лесных пород возможно лишь при очень точном, конкретном понимании особенностей их биологии. Поэтому для лесного хозяйства большой интерес представляют исследования изменчивости древесных пород в естественных условиях, т. е. изучение разнообразных форм, составляющих вид. Отдельные исследования в этом плане проводились уже давно, и к настоящему времени выявлено много ценных для лесного хозяйства форм дуба, ели, лиственницы, осины, орехоплодных и других древесных пород (см. обзор в работах Л. Ф. Правдина [2, 3]).

По современным представлениям вид является сложной и многообразной системой морфологических, экологических и биологических типов, выражающих конкретные формы его существования в определенных внешних условиях. Для лесного семеноводства использование формового разнообразия видов сулит заманчивые перспективы в повышении производительности наших лесных насаждений. Здесь на помощь приходит селекция. Найденные и изученные ценные формы нужно отобрать, размножить и поставить на службу человеку. Вопрос о необходимости улучшения наших древесных пород впервые был поставлен С. З. Курдиани [4]. Эту же идею развивали В. Н. Сукачев [5] и Н. П. Кобранов [6]. Н. П. Кобранов на Всесоюзном съезде по генетике и селекции в 1929 г. выдвинул задачу улучшения состава лесов путем выделения хозяйственно ценных биотипов и создания ценных форм. Вслед за этим В. Н. Сукачев [7] ставит вопрос о преодолении времени в лесоводстве с помощью селекции. К созданию новых качеств у лесных растений призывает С. А. Самофал [8].

Эти идеи не сразу нашли свое место в лесоводстве. Лишь за последние годы в нашей стране началось внедрение селекции в лесное хозяйство, т. е. стало создаваться лесное семеноводство, теперь уже широко исследованы многие внутривидовые формы, представляющие ценность для лесного хозяйства, имеются и теоретические разработки проблемы. Например, М. М. Вересин [9] рассматривает конкретные пути повышения производительности лесных насаждений с помощью отбора быстрорастущих, ценных по качеству древесины и биологически устойчивых форм древесных пород. Статья М. М. Вересина дает программу работ по организации лесного семеноводства на основе селекции. По времени выход ее совпадает с публикациями шведских работ, где также был выдвинут вопрос об организации лесного семеноводства на базе селекции.

Взросший интерес лесоводов к селекции в нашей стране вызван решениями партии и правительства о повышении продуктивности лесов, заставившими задуматься и над путями, которыми его можно достигнуть. Но этому немало способствовал и широкий обмен опытом работы с зарубежными лесоводами, непосредственное знакомство с их лесоводственной практикой и литературой.

В западноевропейской литературе последнего времени широко обсуждались новые методы организации лесосеменных хозяйств. От сбора семян в лесу со случайных деревьев там постепенно переходят к производству сортовых семян на специальных плантациях, где размножают отобранные лучшие формы древесных пород. Найден способ ускорения плодоношения, состоящий в прививке черенков от взрослых деревьев на молодые саженцы. Метод прививок разрабатывался и нашими учеными [10], но не был использован как лесокультурный прием.

Успехи зарубежного лесоводства на этом пути, несомненно, стимули-

ровали продвижение селекции в лесное семеноводство и в нашей стране, показав практические пути использования ее в лесном хозяйстве. Широко практикуемый метод прививок в известной мере разрешил трудную «проблему времени», которая так затрудняет лесоводов.

Для современного этапа развития лесного семеноводения и семеноводства характерна углубленная разработка отдельных теоретических вопросов лесной селекции, практических приемов размножения ценных форм и детальных планов организации семенных хозяйств на новых принципах. В этой работе определенные достижения имеют Всесоюзный научно-исследовательский институт лесного хозяйства и механизации (ВНИИЛМ), Латвийский институт лесохозяйственных проблем и некоторые другие.

Организационные принципы семеноводства с учетом новейших достижений русской и зарубежной науки детально разработаны М. М. Вересиным [11—13], они же положены в основу типовых проектов организации семенных хозяйств, имеющих уже прикладное значение. Много сделано у нас для усовершенствования метода прививок, благодаря чему стали возможны массовые прививочные работы прямо в культурах [14] в противоположность западноевропейской практике, где больше пользовались теплицами. Поиски новых путей активного воздействия на природу выражены в семеноведении также попытками применить радиационные методы, но они еще немногочисленны и реальных результатов пока не дали.

Оформление лесного семеноведения в самостоятельный раздел науки и внедрение селекции нашли свое выражение в появлении учебников и крупных обобщающих работ по лесной селекции и семеноводству [15—18].

Наряду с большими достижениями современное лесное семеноведение и семеноводство в нашей стране имеет и серьезные недостатки. Слабо изучаются физиологические и биохимические процессы плодоношения древесных пород и физиология семян. Это тормозит решение проблемы управления плодоношением, затрудняет правильную постановку хранения и предпосевной обработки семян. Слабо используется также агротехническое воздействие на урожай, хотя в этом отношении можно было бы с известными поправками воспользоваться опытом плодоводства. Мало работ, посвященных вредителям и болезням лесных плодов и семян. Большие перспективы имеет гибридизация. Работы в этом направлении ведутся, но они пока не находят широкого применения в лесном семеноводстве главных лесобразующих пород. Но самым большим недостатком является очень медленная реализация правильных и ценных теоретических положений науки в лесокультурной практике, низкая техническая оснащенность как научных, так и практических работ, связанных с лесными семенами.

В настоящее время семена по-прежнему заготавливают только в лесу и на лесосеках, притом нередко в недостаточных количествах и низкого качества. Породные качества семян, как правило, не учитываются. Стоимость семян непомерно высока. (Более подробный анализ состояния лесосеменного дела можно найти для Западной Сибири в статье Т. П. Некрасовой [19]; для Архангельской области — в статье П. И. Войчалы [20]). Лишь в последнее время наметился небольшой перелом в этом положении и кое-где в европейской части Союза лесное хозяйство начинает организовывать семеноводство на новых основах. Но это пока единичные факты.

В продвижении теоретических достижений в практику решающую роль должны были бы играть общесоюзные и республиканские органы

лесного хозяйства. К сожалению, эту роль они выполняют очень слабо, практики же стеснены существующими инструкциями и не всегда хорошо знакомы с новейшими достижениями науки. Кроме того, они подчас не имеют необходимой материально-технической базы для перестройки, например, семяноборочных машин, типовых сушилок и т. п.

Именно в разрыве теории и практики состоит главная трудность дальнейшего развития лесного семеноводства, и на ликвидацию этого разрыва должны быть направлены совместные усилия ученых и практиков-лесоводов. Эта главная организационная задача. Если лесное хозяйство сумеет использовать хотя бы все те рекомендации, которые уже разработаны по вопросам лесного семеноводства, нет сомнения, что уже через несколько лет будет достигнут решающий перелом в деле получения высококачественных лесных семян.

На данном этапе нужно разумно сочетать использование естественных семенных ресурсов с искусственно полученными на специальных семенных участках. Поэтому в области теории должны разрабатываться вопросы, освещающие как то, так и другое. Они могут быть объединены в следующие группы.

I. Естественные источники семян

1. Закономерности формирования урожаев в зависимости от факторов внешней среды и особенностей самого дерева.
2. Закономерности размещения урожаев: а) в насаждениях в зависимости от структуры и состояния древостоя, б) на больших территориях в зависимости от климатических, почвенных и лесотипологических условий.
3. Формовой состав видов, лесоводственная оценка форм и их ареалы.
4. Физиолого-биохимические основы плодоношения.
5. Разработка теории массового отбора ценных форм применительно ко всем основным лесообразующим породам.
7. Совершенствование методов оценки и прогноза урожаев.
8. Механизация семяноборочных работ.
9. Разработка теории временных лесосеменных участков с целью организации массовых сборов семян в естественных лесных насаждениях.
10. Вопросы районирования заготовок и перебросок семян.
11. Рациональные способы содействия естественному возобновлению и система семенников на вырубках.
12. Изучение вредителей и болезней плодов и семян, разработка новых эффективных мер борьбы с ними и выведение устойчивых сортов.

II. Семена

1. Морфология, анатомия, физиология и биохимия лесных семян как научная основа правильных режимов сушки, хранения, предпосевной обработки и агротехники выращивания.
2. Посевные свойства семян в зависимости от географического и лесотипологического происхождения, возрастного состояния материнских древостоев и положения в кроне.
3. Наследственные свойства семян и разработка принципов ранней диагностики наследственности.
4. Разработка новых, более совершенных методов исследования посевных свойств семян.

III. Семенные участки

1. Совершенствование методов создания семенных участков в естественных молодняках на базе селекции.
2. Размножение ценных форм древесных пород: а) семенами, б) прививками, в) другими способами вегетативного размножения.
3. Лесоводственные, физиологические, агротехнические и иные методы стимулирования плодоношения.
4. Изучение наследственности, проверка родительских деревьев.
5. Вопросы организации семенных хозяйств (размер площади, размещение клонов, соотношение по полу, изоляция от посторонней пыльцы и т. д.).

Из приведенного перечня вопросов, которыми будет заниматься лесное семеноводение и семеноводство, ясно, что, кроме лесоводов, в исследованиях должны принять участие физиологи, биохимики, морфологи и анатомы, почвоведы, генетики, а возможно, и физики.

Как показывает опыт других областей знания, наибольшие успехи в настоящее время достигаются на стыках наук. Это относится и к лесному семеноводству, где также необходим коллективный труд специалистов разных профилей науки.

Следует всячески расширять экспериментальное направление исследований, в связи с чем нужно подумать об оснащении работ специальными приборами, соответствующими новым методам и задачам, например: портативными рентгеновскими установками для анализа семян, малогабаритными измерителями влажности семян и шишек, приборами для обнаружения пороков древесины и возраста у растущих деревьев, более совершенной аппаратурой для полевых микроклиматических наблюдений и т. д. Нужно решить, наконец, проблему механизации семяноборочных работ.

Необходим обобщающий труд по лесному семеноводению, в котором нашли бы свое место вопросы, связанные с лесными семенами, начиная от их анатомии, морфологии и физиологии, закономерностей формирования, посевных и наследственных качеств; биологические основы и практические рекомендации по организации лесосеменного хозяйства в лесу и на искусственно созданных семенных участках могли бы составить вторую часть такого труда — лесное семеноводство.

Нельзя не обратить внимание и на тот факт, что кадры специалистов по лесному семеноводению и семеноводству не готовятся ни в одном из высших учебных заведений. Следовало хотя бы в некоторых из них организовать соответствующие кафедры. Усилия отдельных коллективов исследователей, работающих в области лесного семеноводения и семеноводства, должны быть хорошо скоординированы. По важнейшим проблемам целесообразно создать центры координации в тех учреждениях, где они наиболее успешно разрабатываются.

Несомненно должна усилиться научная и организующая роль контрольно-семенных станций, в первую очередь центральной станции при ВНИИЛМ. Здесь должны разрабатываться и апробироваться новейшие методы исследования посевных качеств семян и составляться проектные задания на приборы и механизмы, в которых нуждается лесное семеноводство. Отсюда же должна исходить организация сети фенологических наблюдений и научное обобщение обширных материалов местных контрольных станций.

Задачи лесного семеноводения и семеноводства в Сибири по кругу вопросов совпадают с общими, но по предстоящему объему исследований они особенно велики, так как в Сибирь в ближайшее время пере-

местится основной фронт лесокультурных работ. Кроме того, в Сибири не сделано еще все то, что составляет уже пройденный этап для других, более освоенных районов страны. Просторы Сибири имеют огромное разнообразие природных условий, что влечет за собой необходимость многих параллельных исследований. Чтобы осуществить их, необходимо иметь хотя бы небольшие коллективы исследователей в области лесного семеноведения и семеноводства в разных частях Сибири.

До недавнего времени в Сибири не было ни одного специального научного учреждения, которое бы занималось этими вопросами. Поэтому не приходится и говорить о широком и планомерном изучении плодородия древесных пород Сибири. Тем не менее усилиями отдельных исследователей были получены характеристики плодородия для всех основных лесобразующих пород и разработаны отдельные теоретические вопросы лесного семеноведения.

В конце 1958 г., с организацией в Красноярске института леса и древесины СО АН СССР, в Сибири впервые появилась лаборатория лесной селекции и семеноводства. Лаборатория развернула изучение формового разнообразия видов сосны, лиственницы и кедра, биологии плодородия кедра, отбора в лесу лучших маточных деревьев и размножения ценных форм.

Однако для территории Сибири одной этой лаборатории явно недостаточно. Поэтому вполне закономерно оформление аналогичной лаборатории в Биологическом институте СО АН СССР. Следовало бы подумать о создании хотя бы соответствующих групп в Восточно-Сибирском, Якутском и Дальневосточном филиале СО АН СССР. Координацию и методическое руководство должна осуществлять лаборатория селекции Института леса и древесины СО АН СССР.

Программа предстоящих исследований по лесному семеноведению и семеноводству в Сибири должна строиться с учетом общих задач, поставленных перед лесным хозяйством и лесной промышленностью Сибири. Перебазирование лесозаготовок из малолесных районов страны, громадное строительство и связанное с ним промышленное освоение новых районов, сельскохозяйственное освоение безлесных целинных земель — все это определяет новые масштабы лесовосстановительных и лесокультурных работ, а следовательно, и новые требования к количеству и качеству лесных семян.

Из ближайших задач для таежных районов Сибири основное значение будут иметь исследования организации рациональных заготовок лесных семян в естественных насаждениях. Прежде всего необходимо найти методы использования естественных молодняков и лесных культур для закладки в них семенных участков. Трудность здесь состоит в том, что молодняки имеют неизвестную нам наследственность. Если бы были разработаны принципы массовой селекции в молодняках, в процессе изреживания можно было бы быстро удалить все наследственно малоценные деревья и тем самым сразу резко улучшить качество семенного насаждения. Поэтому очень важно исследовать признаки, по которым можно вести селекцию в молодняках.

Необходимо провести исследования по выяснению влияния лесотипологического происхождения семян на рост и качество леса. Хотя в принципе этот вопрос решен [21], в условиях Сибири необходимы опыты, на основе которых можно было бы дать конкретные рекомендации, в каких типах леса лучше собирать семена и как их использовать.

Для составления схем районирования перебросок семян необходимо провести тщательный анализ физико-географической среды и изучить географические изменения свойств семян из естественных насажде-

ний. Параллельно следует организовать широкий и хорошо продуманный опыт географических культур.

Из частных вопросов можно упомянуть о необходимости семеноведческого изучения алтайской лиственницы с разных высот, чтобы решить вопрос о возможных местах ее заготовки, так как в литературе существует явно ошибочное мнение о непригодности алтайской лиственницы для культуры вследствие подмерзания.

Изучение физиологии семян как основы рационального режима сушки и хранения является общей задачей, но для таежных районов особенно важной, так как здесь семеноводство пока будет основываться на естественных семенных ресурсах, которые подвержены большим колебаниям, следовательно, возникает необходимость создания запасов семян на случай неурожая.

Для районов более южных, менее лесистых и интенсивно освоенных нужно решать задачи организации правильного производства высококачественных лесных семян в специальных семенных хозяйствах. В Сибири такого опыта еще нет.

Особенно много работы предстоит по выделению ценных форм древесных пород, от которых в Сибири можно ожидать значительных результатов. Поиски могут идти в направлении быстрорастущих форм сосны и лиственницы, более урожайных и с повышенным содержанием жира в орехах форм кедра, устойчивых к гнили форм пихты и осины, солеустойчивых и других форм сосны и березы для использования их в защитном лесоразведении и т. д. Чтобы иметь возможность перенести найденные формы на лесосеменные участки, необходимо разработать применительно к условиям Сибири методы их размножения, в том числе прививки черенками с отобранных взрослых деревьев. Сроки прививок, рекомендованные для европейской части Союза, как показал наш первый опыт, здесь неприменимы.

Ученым и работникам лесного хозяйства надо, наконец, решить проблему организации лесосеменных хозяйств, вначале в виде опыта хотя бы немногих. Только в таких хозяйствах может быть применена система мер по правильному использованию естественных семенных ресурсов и организации их искусственного производства. Отдельные мероприятия могут дать очень мало.

Опытные лесосеменные хозяйства могли бы стать тем промежуточным звеном, где достижения науки находили бы свою апробацию и через них проникали в практику.

Организуемая лаборатория лесного семеноведения и семеноводства в Биологическом институте СО АН СССР призвана помочь лесному хозяйству Западной Сибири. В ближайшие годы работа лаборатории будет вестись главным образом по проблеме повышения семенной продуктивности кедра сибирского путем отбора и размножения наиболее высокоурожайных форм для продвижения этой ценной породы в районы, лежащие южнее его естественного ареала.

Итак, лесное семеноведение в настоящее время является теоретической основой лесосеменного дела и зарождающегося лесного семеноводства. Оно и впредь должно развиваться и совершенствовать свои методы.

На современном этапе лесное семеноведение вступает на путь активного вмешательства в процессы плодородия, используя раскрытые закономерности для регулирования урожая, их увеличения и улучшения породных качеств семян.

Внедрение селекции в лесное семеноведение знаменует вступление в качественно новый этап, проникнутый идеями мичуринской биологии.

В области теории имеются два главных фронта — физиология и генетика. Задача состоит в том, чтобы вскрыть до конца физиолого-биохимическую сущность процессов плодоношения и научиться управлять ими. С другой стороны, нужны глубокие исследования законов наследственности, теоретическое обоснование всех работ по отбору различных форм в лесу и в питомнике.

Главная практическая задача состоит сейчас в возможно более полной перестройке лесного семенного дела на основе достижений науки, в первую очередь на основе селекции. Чтобы осуществить такую перестройку, нужны соответственно подготовленные кадры. Для этого в лесных вузах следовало бы читать лесное семеноведение как самостоятельную научную дисциплину. По сумме накопленных фактов и степени теоретической изученности этот раздел лесоводства вполне заслуживает самостоятельности.

Можно думать, что в будущем лесное семеноведение и семеноводство сольются в единую теорию производства семян, основанную на глубоком понимании закономерностей их формирования и свойств.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
5/III 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Г. Минина, Определение пола у лесных древесных растений. Тр. Ин-та леса АН СССР, т. XLVII. Плодоношение дуба, вып. 2. Изд-во АН СССР, М., 1960.
2. Л. Ф. Правдин, Современное состояние и пути развития селекции древесных пород и лесного семеноведения. Тр. Ин-та леса АН СССР, т. VIII. Изд-во АН СССР, М., 1951.
3. Л. Ф. Правдин, Лесная селекция в СССР. Достижения науки в лесном хозяйстве СССР за 40 лет. Гослесбумиздат, М.—Л., 1957.
4. С. З. Курдиани, Об организации селекции лесных растений в России, Спб., 1912.
5. В. Н. Сукачев, Очередные задачи русской дендрологии. Тр. Всерос. лесной конференции 10—17 ноября 1921 г. в Москве. Изд. науч. лесн. и техн. об-ва при Моск. лесотехн. ин-те, М., 1922.
6. Н. П. Кобранов, Об организационных формах лесного опытного дела СССР и его очередных задачах в области лесоводства. Лесн. хоз-во и лесн. пром., № 4 и 5, 1930.
7. В. Н. Сукачев, Проблема преодоления времени в лесоводстве и роль селекции древесных пород в ее разрешении. Селекция и интродукция древесных пород. Сб. тр. ЦНИИЛХ, I. Л., 1934.
8. С. А. Самофал, К созданию новых качеств растений в лесном хозяйстве. Науч. зап. Воронеж. с.-х. ин-та и Воронеж. лесокульт. ин-та, т. IV (XIX). Воронеж, 1936.
9. М. М. Вересин, Селекционный отбор быстрорастущих форм древесных пород при лесовыращивании. Науч. зап. Воронеж. лесохоз. ин-та. Воронеж, 1946.
10. А. И. Северова, Вегетативное размножение хвойных. Изд-во АН СССР, М., 1951.
11. М. М. Вересин, Улучшение лесов методами селекции и роль заповедников в этой работе. Тр. Воронеж. гос. заповед., вып. 8, 1959.
12. М. М. Вересин, Семеноводство сосны и пути его улучшения на основе селекции (тезисы доклада). Науч. зап. Воронеж. лесотехн. ин-та, 17. Воронеж, 1960.
13. М. М. Вересин, Семеноводство дуба и пути его улучшения на основе селекции. Науч. зап. Воронеж. лесотехн. ин-та, т. XX. Воронеж, 1960.
14. Е. П. Проказни, Новый метод прививки хвойных для создания семенных участков. Лесн. хоз-во, № 5, 1960.
15. А. С. Яблоков, Лесное семеноводство и селекция. Гослесбумиздат, М.—Л., 1949.
16. А. С. Яблоков, Селекция древесных пород с основами лесного семеноводства, ч. I. Генетика. Учеб. для лесохоз. лесомелиорат. ин-тов и факультетов. Гослесбумиздат, М., 1952.

17. А. В. Альбенский, Методы улучшения древесных пород. Гослесбумиздат, М.—Л., 1954.
18. А. В. Альбенский, Селекция древесных пород и семеноводство. Гослесбумиздат, М.—Л., 1959.
19. Т. П. Некрасова, Состояние и перспективы лесного семенного дела в Западной Сибири. Тр. по лесн. хоз., вып. 4. Изд. СО АН СССР, Новосибирск, 1958.
20. П. И. Войчалъ, Состояние лесосеменного дела в Архангельской области и перспективы его перестройки. Тр. Архангельск. лесотехн. ин-та, 19. Архангельск, 1959.
21. М. М. Вересин, Значение и использование лесотипологических форм древесных пород в лесной селекции. Докл. на совещ. по вопросам лесной селекции при Ин-те леса АН СССР. Науч. зап. Воронеж. лесотехн. ин-та, т. XVII, 1957.

И. Н. ЕЛАГИН

СЕЗОННОЕ РАЗВИТИЕ КАМЕННОБЕРЕЗНЯКОВ КАМЧАТКИ

Изучение сезонного развития растительных сообществ позволяет лучше понять их зависимость от внешних условий, а также вскрыть такие взаимосвязи между компонентами этих сообществ, которые при спорадических наблюдениях нельзя обнаружить и, следовательно, нельзя использовать на практике. Однако работ подобного рода опубликовано еще очень немного. Одной из наименее изученных в этом отношении лесных формаций являются обычно труднодоступные камменноберезняки Дальнего Востока. Между тем в отдельных районах Советского Союза и, в частности, на Камчатке каменная береза (*Betula Ermani* Cham. S.l.) — самая распространенная древесная порода. Общая площадь лесов, образованных ею, достигает там 30% всей лесопокрытой площади.

В некоторых районах нашей страны (Камчатка, Сахалин, Приморье, Курилы) камменноберезняки имеют важное народнохозяйственное значение. Учитывая это, в период стационарных и экспедиционных исследований в долине р. Камчатки (1959 и 1960 гг.) мы проводили наблюдения над сезонным развитием двух типов камменноберезняков, расположенных на склонах потухшего вулкана (сopка Плоская), вблизи пос. Козыревска (северная часть центральной Камчатской депрессии, 56° с. ш. и 160° в. д.*).

Наблюдения велись в камменноберезняке ольхово-вейниковом (*Ermani-betuletum alnetoso-calamagrostidetosum*), образующем нижнюю границу пояса камменноберезовых лесов (560 м над ур. м., склон 20—25° северо-западной экспозиции) и в камменноберезняке разнотравном (*Ermani-betuletum mixtoherbosum*), приуроченном к верхней границе этого пояса (вершины увалов на высоте 920 м над ур. м.).

Дерновые почвы в камменноберезняках формируются на мощных рыхлых отложениях вулканического песка и пепла. Все они отличаются большой водопроницаемостью и бесструктурностью и, как правило, являются сравнительно сухими.

Древостои всегда одноярусные, редкостойные. Бонитет V—Va. Высота деревьев 13—15 м, сомкнутость крон 0,6—0,8. В камменноберезняке ольхово-вейниковом ярус подлеска выражен очень хорошо. Основной породой подлеска является ольховый стланик (*Alnus kamtschatica* (сagg.) Kom.), высота кустов которого достигает 3—4 м. В просветах между сомкнутыми куртинами его встречаются очень невысокие редкие кусты жимолости съедобной (*Lonicera edulis* Turcz.), шиповника иглистого (*Rosa acicularis* Lindl.), смородины (*Ribes triste* Pall.), спиреи (*Spiraea media* Fr. (Schmidt)). Травянистая растительность образована в основном вейником (*Calamagrostis Langsdorfii* (Link.) Trin.) — сop³, какалийей (*Cacalia hastata* L.) и хвощами (*Equisetum silvaticum* L. — сop¹ — сop², *E. pratense* Ehrh. — sp). В камменноберезняке разнотравном, образующем верхнюю границу пояса лесной растительности, ярус подлеска по су-

* Исследования проводились в составе лесоводственного отряда лаборатории лесоведения АН СССР и Камчатской комплексной экспедиции СО АН СССР.

шеству отсутствует. Встречаются лишь единичные кусты ольхового стланика, шиповника, жимолости и кедрового стланика (*Pinus pumila* Rgl.). В составе изреженного травяного покрова господствуют иван чай (*Chamaenerium angustifolium* (L.) Scop.) — сop¹, вейник (*Calamagrostis Langsdorfii* (Link.) Trin. — sp — сop¹, чемерица (*Veratrum album* L.) — sp, хвощ (*Equisetum pratense* Ehrh.) сop¹, герань (*Geranium erianthum* D. C.) — сop¹ и др.

В названных типах леса были заложены постоянные пробные площади, которые в 1960 г. периодически посещались и описывались. При этом особенно большое внимание обращалось на регистрацию фенологического состояния компонентов растительных сообществ и условий местообитания (температуры воздуха и почвы).

Наблюдения показали, что оттаивание почвы в камменноберезняках начинается в период интенсивного снеготаяния под действием талых вод и проникающей сквозь снег солнечной радиации. Особенно быстро температура почвы в камменноберезняке ольхово-вейниковом начала повышаться в 1960 г. после того, как снеговой покров полностью сошел (в середине первой декады июня). Под действием прямых солнечных лучей, легко проникающих сквозь необлиственный полог древостоя и подлеска, слежавшаяся за зиму, насыщенная влагой лесная подстилка и верхние горизонты почвы интенсивно прогреваются. Согласно измерениям, произведенным 11 июня 1960 г., температура почвы на глубине 20 см достигла 5° (табл. 1). К этому времени почки у каменной березы сильно набухли, а из ран выделялась обильная пасока*. Несколько дальше ушли в своем развитии кустарники. Например, многие кусты ольхового стланика вступили в фазу распускания почек, а у рябины (*Sorbus kamtschaticensis* Kom.) и особенно у смородины эта фаза развития уже заканчивалась. У травянистых растений, однако, заметный рост еще только начинался.

Острые шильцы кончиков листьев *Allium victorialis* L. и *Equisetum silvaticum* L., тонкие, как иглы, ростки и даже свернутые в узкие тугие трубочки первые листочки *Cacalia hastata* L., *Chamaenerium angustifolium* (L.) Scop и *Majanthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt пронзали слежавшийся за зиму слой подстилки и в момент наблюдения заметно выделялись на светло-буrom фоне. При разрывании ими сухих листьев возникал тихий, но явственный треск. Молодые листочки большинства перечисленных видов имеют красноватый оттенок. Но проходит немного времени, они разворачиваются и приобретают зеленую окраску.

Прямым результатом появления многочисленных ростков травянистых растений в листовом лесу является очень быстрое механическое разрывание плотного слоя подстилки, ее измельчение. Таким образом, травянистые растения уже в период своего появления содействуют разрушению листьев опада.

По сравнению с камменноберезняком ольхово-вейниковым в камменноберезняке разнотравном, образующем верхнюю границу лесной растительности, процесс оттаивания почвы и, следовательно, развития растений сильно запаздывает (табл. 2)**.

* Подробное описание методики регистрации фенологического состояния растений в лесных сообществах было опубликовано нами ранее [2].

** Быстрому оттаиванию почвы на Камчатке способствует, согласно Э. К. Безайсу [3], обилие талых вод. По сравнению с камменноберезняком ольхово-вейниковым в камменноберезняке разнотравном (вершина холма, граница горной «лесотундры») снега скапливаются значительно меньше, так как он сдувается; меньше там образуется и талых вод. Кроме того, в первом случае возможен подток воды с верхних элементов рельефа, а во втором случае этого нет.

Таблица 1

Вид	Фаза развития									
	0 θ ₂	W ₂	W ₂₋₂ /1	2	X	XΛ	1	1	1	1
Каменная береза	0	W ₂	W ₂₋₂ /1	2	X	XΛ	1	1	1	1
Ольховый стланник	0	W ₂₋₁	0	2	X	XΛ	X	X	X	X
Рябина камчатская	W ₁	W ₁	W ₁	2	0	+	Δ	Δ	Δ	Δ
Шиповник иглистый	W ₁	W ₁	W ₁	2	2	0	X	X	X	X
Жимолость съедобная	W	W	W	XΛ	X	X	X	X	X	X
Смородина	W ₂	W ₂	W ₂	2	0	X	X	X	X	X
<i>Atragene ochotensis</i> Pall. var. <i>corrulescens</i> Kom.	W	W	W	2	0	X	X	X	X	X
<i>Sacalia hastata</i> L.										
<i>Thalictrum minus</i> L.										
<i>Geranium erianthum</i> D. C.										

Условные обозначения:

- 0 — явление плача.
 θ — фаза набухания почек.
 W — распускания почек.
 W₁ — развертывания листьев.
 W₂ — летней вегетации.
 X — образование конечной почки.
 Λ — фаза бутонизации.
 Δ — фаза зацветания.
 1 — расщепления плодов.
 2 — опадания листьев.
 3 — полное отмирание надземных органов растений.
 4 — одревеснение побегов.
 5 — фаза бутонизации.
 6 — зацветания.
 7 — цветения.
 8 — отцветания.
 9 — колючести.
 10 — созревания плодов.

Таблица 2

Вид	Фаза развития*									
	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
Каменная береза	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
Ольховый стланник	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
Жимолость съедобная	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
Шиповник иглистый	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
<i>Veratrum album</i> L.	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
<i>Geranium erianthum</i> D. C.	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
<i>Saxsurga pseudo-Tile-</i> <i>sii</i> Lypsch.	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
<i>Allium victorialis</i> L.	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt	0	0	W ₁	W ₂	W	W ₂	W ₁	W ₂	W	W ₁

* Условные обозначения те же, что и в табл. 1.

Древесно-кустарниковая растительность в камноберезняках трогается в рост раньше, чем травянистая. Причина этого заключается, по-видимому, в том, что деревья и кустарники, как на это указывал еще А. Ф. Миддендорф [4], способны трогаться в рост до того, как почва оттаивает, так как побеги их в течение длинного весеннего дня могут аккумулировать тепло прямых солнечных лучей. Травянистые же растения трогаются в рост лишь после того, как верхний слой почвы оттаивает и приобретает положительную температуру. В этом отношении камноберезняки как лесная формация, образованная листовенной зимнеголой породой, отличаются от аналогичных зимнеголых формаций Европейской части СССР, в которых в большинстве случаев вначале трогаются в рост травянистые растения и лишь после этого деревья и кустарники.

Дальнейшее повышение температуры воздуха, происходящее в период наибольшей длины дня и все еще незначительного затенения, образуемого растительностью, привело к тому, что температура почвы на глубине 20 см в камноберезняке ольхово-вейниковом к 23 июня достигла величины, которой она характеризовалась в период летней вегетации (см. табл. 1). В самом конце весны, после того как деревья и кустарники почти полностью покрылись листвой, а разросшийся травяной покров сомкнулся, в результате чего прямые солнечные лучи уже не могли достигать почвы, температура ее под влиянием холода более глубоких слоев опять заметно снизилась. Наблюдения за плачем у камной березы в условиях Камчатки показали, что если почва еще совершенно мерзлая, то плач отсутствует.

В начале весны процесс истечения пасоки (плач) — явление прерывистое. Днем он начинается при повышении температуры самых верхних слоев почвы до 1—2°. К вечеру, если произойдет понижение температуры, плач вначале прекращается у тонкомера, затем уже при отрицательной температуре воздуха — у деревьев большого диаметра. Вследствие этого вытекающая пасока образует на стволах деревьев наплывы льда и сосульки. Аналогичный, прерывистый в начале весны, характер плача мы наблюдали и у *Betula verrucosa* Ehrh. и *Acer platanoides* L. в условиях лесостепи европейской части СССР [5]. Очень интенсивный плач у камной березы наблюдался нами в то время, когда почва оттаивала на глубину 10—14 см и температура ее на глубине 10 см достигала 1,5°.

В европейской части СССР, там где почва в течение всей зимы остается талой или оттаивает в конце зимы, плач у березы наблюдается даже тогда, когда в лесу еще много снега. На Камчатке же на сильно промерзающих почвах плач у камной березы начинается лишь после полного освобождения почвы от снега и разморзания хотя бы самых верхних ее слоев.

Высокая температура и низкая относительная влажность воздуха являются причинами иссушения весной прошлогодних побегов травянистых растений. Этот период в годичном цикле развития камноберезняка наиболее сухой и, что особенно важно, наиболее пожароопасный.

Климатодиаграмма (см. рисунок), построенная по методу французского ботанико-географа А. Госсена (см. [6])*, показывает, что собственно засушливого периода в долине р. Камчатки по средним многолетним данным нет (засушливой, по А. Госсену, считается та часть года,

* На оси абсцисс климатодиаграммы откладываются месяцы для северного полушария — от января до декабря, на оси ординат — температура в °С (слева) и осадки в мм (справа) в отношении: 10°С соответствуют 20 мм осадков.

которая на климатодиаграмме отображается температурной кривой, лежащей над кривой осадков). Однако примерно со второй половины мая до первой половины июня эти кривые очень близки, что свидетельствует об известной сухости климата в это время года.

Эфемероидных растений в камноберезняках нет, как, впрочем, и во многих других листопадных формациях, характеризующихся сильным зимним промерзанием почвы.

У фенологов до сих пор нет четкого представления о том, какой момент в годичном цикле развития того или иного сообщества принимать за начало лета или осени.

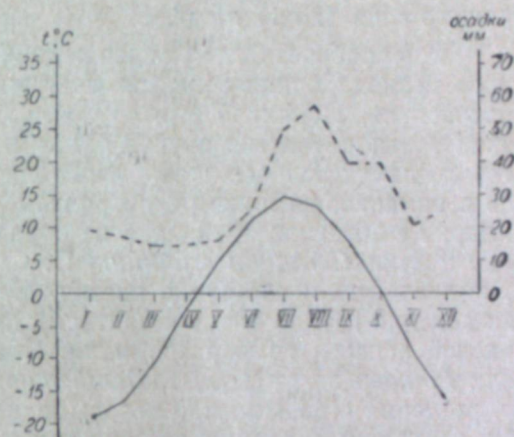
В большинстве случаев в качестве таких критериев берут начало каких-либо фаз у широко распространенных растений. Так, за начало лета очень часто считают тот день, когда цветет шиповник [7]. Но шиповник не везде встречается, а если он и есть, то часто не цветет. Да и показатель этот применительно к лесу является несомненно совершенно случайным. Более обоснованным показателем начала того или иного сезона года должно быть состояние эдификатора фитоценоза, так как его влияние на все другие компоненты сообщества наиболее значительно.

Весной, например, в период облиствения деревьев и кустарников и формирования травяного покрова, характер влияния одних компонентов растительных сообществ на другие и сообщества в целом на условия местообитания беспрерывно изменяется. Наступает, однако, момент, когда лесобразующая порода покрывается листвой, после чего ее состояние сравнительно длительное время остается неизменным. Столь же неизменной оказывается и ее роль в изменении условий местообитания расположенных ниже ярусов. Поэтому мы предлагаем за начало лета в том или ином сообществе принимать такой день, когда эдификатор сообщества (в данном случае камная береза) покроется листвой*.

Если при определении границы между весной и летом пользоваться этим критерием, то лето в 1960 г. в камноберезняке ольхово-вейниковом наступило примерно в середине июля, а в камноберезняке разнотравном — в конце второй декады июля. В первом типе леса к этому времени закончилось облиствение и всех кустарников (за исключением *Rosa acicularis* Lindl.). В более лучших условиях освещения проходила и фаза их цветения. К указанному моменту не отцвела только рябина. Травяной покров уже достиг большой высоты, общая степень покрытия почвы травянистыми растениями оказалась равной 0,9. В это время он характеризуется наиболее высокими кормовыми достоинствами.

Камчатка и особенно долина р. Камчатки сравнительно бедны удобными сенокосами с ранним поспеванием травы. Последнее сильно

* Имеется в виду листва первой генерации; образование нового прироста (кстати, его может и не быть) происходит уже летом.



Климатодиаграмма района Козыревска (долина р. Камчатки, по методу А. Госсена). ———— среднемесячная многолетняя температура воздуха; - - - - - среднемесячная многолетняя сумма осадков.

сдерживает развитие животноводства. В долине сено чаще всего заготавливается в пойме реки, после спада полой воды. Но разлив реки происходит очень поздно, чаще в июле, после начала снеготаяния в горах. Вследствие этого сенокос начинается обычно в конце августа, начале сентября, когда погода часто портится и очень трудно высушить траву. Важно поэтому найти дополнительно источники хорошей травы, где бы можно было начинать сенокос раньше. Из всех лесных формаций Камчатки наилучшими в этом отношении являются каменноберезняки. Высокая, сравнительно рано образующаяся густая трава во многих типах каменноберезняков может явиться источником большого количества хорошего сена (до 17 ц/га).

В каменноберезняке ольхово-вейниковом в течение всего вегетационного периода ярких аспектов цветущих растений в 1960 г. так и не образовалось. Причиной этого является господство в покрове вейника, незначительное участие других видов и сильное затенение, в условиях которого находятся все травянистые растения. Иная картина наблюдалась в каменноберезняке разнотравном. В самом начале лета, начиная примерно с 20 июля, яркий аспект образовывали многочисленные сиреневые цветки *Geranium erianthum* D. C. и менее высокие, но не менее яркие в цветущем состоянии цветки *Mertensia kamtschatica* Kom. Ни один вид или группа видов с цветками иной, чем синяя или фиолетовая, окраской аспекта не образовывали. Правда, в самом начале лета зацвели *Linnaea borealis* L., *Majanthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt. т. е. растения с белыми или розовыми цветками. Но обилие этих видов было настолько невелико, что они так и не образовали яркого, хорошо выраженного аспекта.

В других типах каменноберезняков наблюдается та же картина: или в травяном покрове ни один из его представителей не образует аспекта цветущих особей и в таком случае, как правило, в покрове господствуют злаки (главным образом *Calamagrostis Langsdorffii* (Link.) Trin.), или, как это мы наблюдали в каменноберезняках высокотравных, среди цветущих видов господствуют растения с цветками синих тонов.

Основными насекомыми-опылителями в описываемых лесах являются шмели. Бабочки-опылители нами встречались очень редко. Температура почвы на глубине 20 см в каменноберезняках летом более или менее постоянна. В каменноберезняке ольхово-вейниковом она колебалась в пределах 7,5—9,0°, в каменноберезняке разнотравном — в пределах 5,5—7,5°. Быстрому и полному оттаиванию ее содействовали обильные и частые дожди, шедшие в течение июля. Дождевая вода, достигая мерзлых слоев почвы, ускоряет процесс их оттаивания. Вообще на северо-востоке Азии дожди в большинстве случаев (особенно весной и осенью) сильно утепляют климат, способствуют согреванию почвы.

Первые признаки наступающей осени появляются в каменноберезняках вначале у травянистых растений и кустарников. Уже 14 августа аспект видов с синими цветками сильно поблек, стал значительно менее ярким, а у *Geranium erianthum* D. C., *Thalictrum minus* L., *Saussurea pseudo-Tilesii* Lypsch. и некоторых других травянистых растений самые нижние и, следовательно, ранее других появившиеся листья, стали желтеть или, что чаще, краснеть. В это время на растениях начинает сказываться, по-видимому, значительное сокращение длины дня (15 часов в сутки по сравнению с 17,5 часами весной в период образования этих листьев) и начавшееся охлаждение почвы. Вслед за травянистыми видами, а еще чаще одновременно с ними у жимолости, смородины, рябины и шиповника также появляются самые первые по-осеннему окрашен-

ные листья. Это свидетельствует о прекращении у них фазы летней вегетации и начале осенних фаз. Несколькими днями позже желтые листья можно обнаружить и у эдификатора сообщества — каменной березы. Видимые признаки начала осенних изменений у основной древесной породы и следует считать концом лета у всего сообщества в целом.

В каменноберезняке разнотравном осень в 1961 г. наступила 14 августа, в каменноберезняке ольхово-вейниковом — 16 августа. К этому времени прекращается рост побегов в длину и на концах их формируются конечные почки. В это же время в большинстве случаев кончается рост листьев второй генерации. Но к зиме растения еще не готовы. Побеги нового прироста у большинства пород к данному моменту еще не успевают одревеснеть, почки лишены защитных приспособлений, плоды не созрели, а некоторые травянистые растения продолжают цвести.

На скорость прохождения каменной березой осенних фаз большое влияние оказывает температура воздуха и почвы. У верхней границы пояса каменноберезовых лесов, например на северном склоне высокого холма, 14 сентября 1960 г. на глубине 20 см температура почвы была 5,1°, на глубине 30 см — 5,0° и на глубине 50 см — 4,2°. Более половины всех листьев в кронах березы, произрастающей здесь, к этому времени уже пожелтело. В то же время на расстоянии всего 50 м, но на южном склоне холма, температура почвы была соответственно равна 7,0, 7,4 и 6,6°. В кроне березы на этом же склоне изменило окраску лишь около 15—20% всех листьев.

К середине третьей декады сентября температура всей корнеобитаемой толщи почвы в каменноберезняке ольхово-вейниковом оказалась ниже 6°, а в каменноберезняке разнотравном — ниже 5° (см. табл. 1 и 2). В результате этого, а также под действием ночных заморозков (до —3°) все листья у каменной березы пожелтели и большая часть их осыпалась.

У верхнего предела распространения каменной березы под действием ветров и заморозков большой силы листья у деревьев и кустарников осыпаются значительно быстрее. К моменту окончания фазы осеннего расцветания листьев завершается процесс одревеснения побегов, а почки приобретают характерную фиолетово-черную окраску. Однако в отличие от белых берез, у которых рассеивание семян начинается в фазе осеннего расцветания листьев, у каменной березы рассеивание семян началось значительно позднее. Даже частичное опадение листьев у каменной березы и ольхового стланика приводит к усилению влияния ночных заморозков как на температуру почвы, так и непосредственно на травянистую растительность, в том числе (в каменноберезняке ольхово-вейниковом) на *Calamagrostis Langsdorffii* (Link.) Trin., который блекнет, желтеет, отмирает. К 24 сентября 1960 г. почти 75% всех побегов вейника уже отмерло. Немного раньше вейника гибнут и побеги других травянистых растений. При этом характерно, что, чем меньше абсолютная высота травянистого растения в сообществе, тем, как правило, раньше отмирают его надземные побеги.

Почва в каменноберезняках поздней осенью охлаждается очень быстро. Уже к 27 сентября температура ее на глубине 20 см на высоте 560 м над ур. м. снизилась до 3,7°. В этих условиях большая часть листьев у деревьев и кустарников осыпалась, а травянистые растения погибли.

В целом по окраске пояс каменноберезовых лесов весной и осенью весьма четко отличается как от расположенного ниже пояса елово-лиственничных лесов, так и от окаймляющего его сверху пояса ольхового и кедрового стлаников. Весной, до распускания листьев, кроны ка-

менной березы образуют сплошную красновато-бурую полосу, отличающуюся от светло-зеленых тонов ранее распутившейся лиственницы снизу и серовато-зеленых тонов стлаников сверху. В какой-то момент осени кроны березы образуют оранжево-желтый фон, в то время как лиственница снизу и стланики сверху еще сохраняют зеленую листву.

Указанные цветовые различия в окраске крон березы, лиственницы, ели и стлаников в отдельные периоды весны и осени могут быть использованы для более точного определения границ районов распространения каменной березы. В частности, эти различия во времени прохождения фаз развития основных древесных пород должны быть использованы при аэрофотосъемке лесов.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее активные ростовые процессы у каменной березы и многих сопутствующих ей древесных и кустарниковых пород начинаются при повышении температуры почвы на глубине 20 см примерно до 5,0°. Прекращение этих процессов и, в частности, фаза осеннего расцветивания листьев происходит при снижении температуры почвы на этой глубине также примерно до 5—6°. Прекращению вегетации растений способствуют ранние осенние заморозки.

2. Общая продолжительность периода вегетации в каменоберезняках (считая от начала набухания почек до полного пожелтения листьев у каменной березы) была равна в 1960 г. примерно 125 дням, в то время как в белоберезняке, но у подножья сопки — 142 дням, в белоберезняке под Москвой на той же широте — 161 дню.

3. Самым пожароопасным является тот период в развитии каменоберезняков, когда весной деревья и большинство кустарников лишены листвы, а травянистая растительность только трогается в рост.

Лаборатория лесоведения
при Госплане СССР,
Москва

Поступила в редакцию
25/XII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Крылов, Леса Сибири и Дальнего Востока. Гослесбумиздат, М.—Л., 1960.
2. И. Н. Елагин, О методике регистрации фенологических наблюдений в растительных сообществах. Сб. фенологического совещ. 1957 г. Л., 1960.
3. Э. К. Безайс, Условие почвообразования на Камчатке. Матер. по изуч. русских почв, вып. 20. Спб., 1911.
4. А. Ф. Миддендорф, Путешествие на север и восток Сибири, ч. 1. Спб., 1861—1862.
5. И. Н. Елагин, Температурные условия начала плача у клена и березы. Тр. Ин-та леса, т. XXXIII, 1957.
6. Е. М. Лавренко, Гидротермические факторы, география и экология растительного покрова. Матер. к III съезду Географического об-ва СССР, Л., 1959.
7. А. П. Васьковский, Ход сезонных явлений в окрестностях Магадана. Магадан, 1954.

С. З. ФРАДКИН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ И ГИСТОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДАПТАЦИИ КИШЕЧНЫХ ТРАНСПЛАНТАТОВ, ВКЛЮЧЕННЫХ В МОЧЕВЫВОДЯЩУЮ СИСТЕМУ

Интестинальной пластике мочевого пузыря посвящено значительное количество работ. Однако механизмы адаптации трансплантата и мочевого пузыря полностью не выяснены. До сих пор существуют разногласия в отношении применения тонкой или толстой кишки для пластики мочевого пузыря. Поэтому данный вопрос остается актуальным для современной урологии.

В литературе содержатся противоречивые морфологические данные по интестинальной пластике [1—6 и др.]. В свете современной морфологии эти работы не могут считаться полными, так как гистологические методики, примененные различными авторами при изучении морфологических изменений, не дают возможности изучить локализацию тех или иных биохимических процессов в микроструктурах тканей при различных функциональных состояниях. Как известно, методы гистохимического исследования позволяют выяснить характер таких процессов. В литературе мы не нашли работ, посвященных гистохимическому изучению вопроса. Стремясь несколько восполнить существующий пробел и учитывая значение мукополисахаридов в адаптации тканей и процессах заживления, мы использовали ряд физиологических, гистологических и гистохимических методик для ответа на два практически важных вопроса: 1) каков характер процессов соединения и адаптации тканей мочевого пузыря и кишки; 2) каковы особенности этих процессов в случае илео- и сигмоидоцистопластики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Оперировано 40 собак. Производилась субтотальная резекция мочевого пузыря с последующей сигмоидоцистопластикой (закрытым отрезком) или J-образной илеоцистопластикой.

На 15 собаках до операции и 17 собаках в различные сроки после пластики проведены цистометрические исследования. Применялся водяной цистоманометр с записывающим приспособлением. При помощи гистохимических и гистологических методик изучены препараты мочевых резервуаров, взятых у 24 собак. Препараты забирались в следующие сроки: 1, 4, 11, 20 дней и 1, 1½, 3, 4, 6 и 12 месяцев после операции. Исследованы также кусочки нормального мочевого пузыря, подвздошной и сигмовидной кишки, взятые у 3 собак. Использованы окраски гематоксилин-эозином, по Ван-Гизону, азаном, по Гейденгайну, импрегнация, по Гемери. Мукополисахариды исследовались при помощи: 1) ШИК-реакции; 2) окраски алциановым синим; 3) реакции связыва-

ния коллоидной гидроокиси железа по Хэйлу; 4) реакции метакромазии с толуидиновым синим (при различных значениях pH); 5) окраски алциановым синим с последующей ШИК-реакцией, а также по Риттер — Олисону.

Гистохимический дифференциальный анализ мукополисахаридов проводился по схеме, предложенной В. В. Виноградовым и Б. Б. Фуксом [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цистометрические исследования позволили установить, что включение трансплантатов как активной составной части мочевого пузыря происходит постепенно. С течением времени после операции функциональные показатели мочевого резервуара постепенно приближаются к нормальным.

Различие цистометрических показателей мочевого резервуара после илео- и сигмоидоцистопластики обусловлено различным влиянием кишечных трансплантатов. В случае сигмоидоцистопластики нормализация этих показателей происходит в течение более короткого времени (рис. 1).

При помощи гистохимических методов было установлено, что в бокаловидных клетках, кутикуле, содержимом крипт нормальной тонкой и толстой кишки имеются фракции нейтральных и кислых мукополисахаридов; последние содержат сильно диссоциирующие кислотные группы,

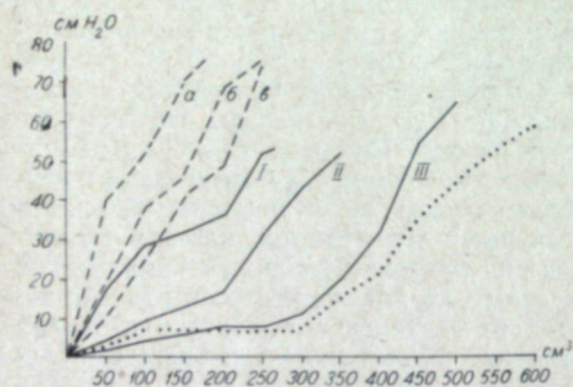


Рис. 1. Цистометрограммы собак в разные сроки после операции.

..... Цистометрограмма собаки до операции;
— цистометрограммы собаки Пальма;
а — через 1 месяц, б — через 6 месяцев, в — через 9 месяцев после илеоцистопластики. — Цистометрограммы собаки Коробочка: I — через 1 месяц, II — через 6 месяцев, III — через 9 месяцев после сигмоидоцистопластики.

несравнимые с сульфатной группой сульфомукополисахаридов. В строме слизистой оболочки содержатся глико- и мукопротеины, гиалуроновая кислота, немного гликогена. Гранулы ШИК-позитивного материала в мышечной оболочке идентифицированы с гликогеном. Эти данные согласуются с данными Мюллера [8], Буркла [9] и др. Нейтральные мукополисахариды содержатся во всех бокаловидных клетках, кислые — только в более крупных. Такие клетки локализуются преимущественно в поверхностных и средних отделах слизистой оболочки. По-видимому, для образования кислых мукополисахаридов могут использоваться нейтральные, и соотношение количеств обеих фракций связано с определенным функциональным состоянием бокаловидных клеток. Значение кислых мукополисахаридов не исчерпывается тем, что они являются «склеивающим» и «смазывающим» материалом. Как известно, они играют активную роль в процессе взаимодействия животного организма с инфекционными агентами, в проницаемости тканей, регуляции ферментативных процессов и т. д. ([10, 11] и др.). Этими многообразными свойствами и обусловлены, вероятно, биологические защитные свойства слизи. Мюллер [8] установил, что субстанции, связывающие коллоидное железо, влияют на

всасывание слизистой оболочкой кишечника. Таким образом, можно полагать, что с изменением количества и качества мукополисахаридов в слизи меняются и ее защитные свойства.

В переходном эпителии нормального мочевого пузыря обнаружено большое количество гликогена, локализуемого в покровных клетках и клетках среднего отдела эпителиального пласта. Здесь содержатся глико- и мукопротеины, а также гиалуроновая кислота. В строме слизистой оболочки, в подслизистом слое, межмышечных соединительнотканых прослойках, серозной оболочке имеются глико- и мукопротеины и хондроитинсульфат С. В мышечном слое мочевого пузыря обнаружено большое количество гликогена.

К. Голди [12], А. Я. Фриденштейн [13] и др. указывают на высокое содержание гликогена в переходном эпителии. По мнению К. Голди [12], из гликогена в переходном эпителии под влиянием ферментной системы образуется близкое к гиалуроновой кислоте вещество — мочевой мукоид. В поверхностных слоях эпителия это вещество превращается в трудно растворимую в воде субстанцию, защищающую слизистую оболочку от воздействий мочи.

После интестинальной пластики мочевого пузыря изменяется течение некоторых гистофизиологических процессов в тканях трансплантатов и культы мочевого пузыря. Уже в ранние сроки после операции в слизистой оболочке обоих трансплантатов наряду с дегенерацией и слущиванием кишечного эпителия (что более выражено в тонкокишечном сегменте) увеличивается количество и размеры бокаловидных клеток.

Усиление процессов слизеобразования при интестинальной пластике хорошо известно. Слизистая пленка, образующаяся на поверхности тонкокишечного сегмента, рассматривается как физико-химическая биологическая мембрана, защищающая слизистую оболочку и уменьшающая возможность всасывания продуктов мочи ([6] и др.).

В наших опытах образование такой мембраны наблюдалось к 11—20-му дню обоих видов пластики. В секрете бокаловидных клеток увеличивалось количество и изменялось качество мукополисахаридов. Накапливались преимущественно кислые мукополисахариды (рис. 2 и 3). Следовательно, в адаптации слизистой оболочки трансплантата играет роль не только увеличение продукции слизи и образование слизистой мембраны, но и изменение качественного состава слизи, выражающееся в превалировании кислых мукополисахаридов. Это предположение подтверждается данными, полученными при более поздних сроках, когда количество слизи уменьшилось, а преобладание кислых мукополисахаридов в ней сохранилось.

Описываемые приспособительные изменения процессов слизеобразования были наиболее выражены в слизистой оболочке отрезка толстой кишки; слизистая мембрана представлялась здесь более компактной. В совокупности с меньшими явлениями дегенерации и слущивания кишечного эпителия это дает возможность говорить о большей устойчивости слизистой оболочки толстой кишки к действию мочи, на что также обратили внимание Газа [2] и Шееле [14].

Изменение локализации и накопление гликогена в переходном эпителии (рис. 4) сопровождается усилением мукообразования, здесь наряду с усилением расходования гликогена происходит его избыточный синтез. Согласно литературным [12, 15] и нашим данным, эти изменения могут быть расценены как проявление защитной реакции слизистой оболочки мочевого пузыря в ответ на действие бактериальной флоры и продуктов секреции слизистой оболочки трансплантатов. С такой же реакцией связано и развитие лимфоидных фолликулов в подслизистом слое.

Важным представляется вопрос о значении изменения количества гликогена в мускулатуре мочевого пузыря и кишечных сегментов. Известно, что гликоген — основная форма отложения углеводов в мускулатуре, при этом количество гликогена является своеобразным «паспортом» обменных реакций [16].

Уменьшение количества гликогена в мышечном слое мочевого пузыря после операции связано с усилением процессов гликогенолиза. Такой характер углеводного обмена является, по-видимому, выражением усиленных энергетических затрат в результате компенсаторного усиления работы культи мочевого пузыря. С течением времени после операции, когда трансплантат полностью включается как активная составная часть мочевого резервуара, количество гликогена восстанавливается. Это может свидетельствовать о восстановлении нормальных обменных процессов в мышечной ткани мочевого пузыря.

В мускулатуре трансплантатов содержание гликогена увеличено. В соответствии с цистометрическими исследованиями, обнаруживающими усиленную сократительную функцию стенки трансплантатов, можно думать, что здесь наряду с повышением затрат гликогена имеет место повышенный синтез его. Накопление гликогена наиболее выражено в мышечной оболочке тонкокишечного сегмента в течение первых четырех месяцев после операции (рис. 5), в мышечной оболочке толстокишечного отрезка отмечается небольшое увеличение количества гликогена в течение 1—1½ месяца после операции.

Итак, новые условия приводят к изменению процессов углеводного обмена в мышцах трансплантатов. При этом в мускулатуре отрезка тонкой кишки такие изменения более выражены. Сопоставление этих данных с результатами цистометрических исследований заставляет предполагать наличие связи между такими изменениями обмена и более выраженным «дезорганизирующим влиянием» сокращений сегмента тонкой кишки в сравнении с толстокишечным трансплантатом.

В работах Сильвена (см. [17]), Кэмпани и Регианини [18], В. С. Пещанского [17] и др. указывается на большую роль кислых мукополисахаридов в процессе регенерации. Процесс развития рубца в области пузырно-кишечного анастомоза при обоих видах пластики в основном подобен образованию любого другого рубца: в ранние сроки происходит размножение фибробластов, образование и накопление аморфного вещества, содержащего кислые мукополисахариды (хондроитинсульфат С, гиалуроновая кислота, немного хондроитинсульфата В); в последующие сроки — коллагенизация аргентофильных волокон при параллельном уменьшении количества кислых мукополисахаридов в основном веществе и увеличении содержания нейтральных мукополисахаридов в волокнах.

Обнаруживается неравномерность процессов формирования рубца. Срастание стенок кишки и мочевого пузыря происходит прежде всего за счет развития соединительной ткани на уровне соединения мышечных и серозных оболочек, что согласуется с данными других авторов ([2, 5] и др.). Более медленное развитие рубца на уровне соединения слизистых оболочек, а также подслизистых слоев объясняется тем, что эти отделы больше других испытывают воздействие содержимого мочевого резервуара.

К 20-му дню после операции линия анастомоза полностью покрыта эпителием, в дальнейшем переходный эпителий на коротком протяжении нарастает на слизистую оболочку трансплантатов. Эпителизация линии анастомоза преимущественно за счет переходного эпителия объясняется несколькими факторами: 1) способностью переходного эпителия как ткани

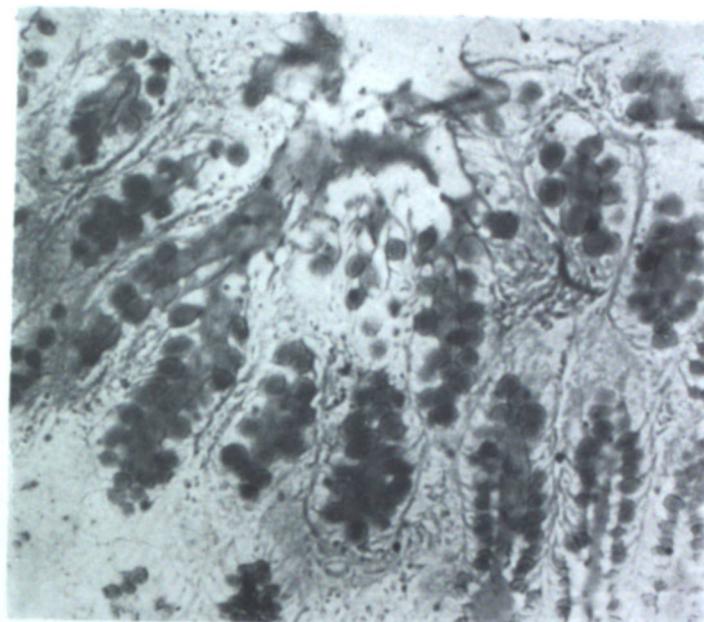


Рис. 2. Кислые мукополисахариды в бокаловидных клетках и содержимом крипт слизистой оболочки нормальной толстой кишки собаки. Окраска алциновым синим. Микрофото. Ок. 15, об. 20.

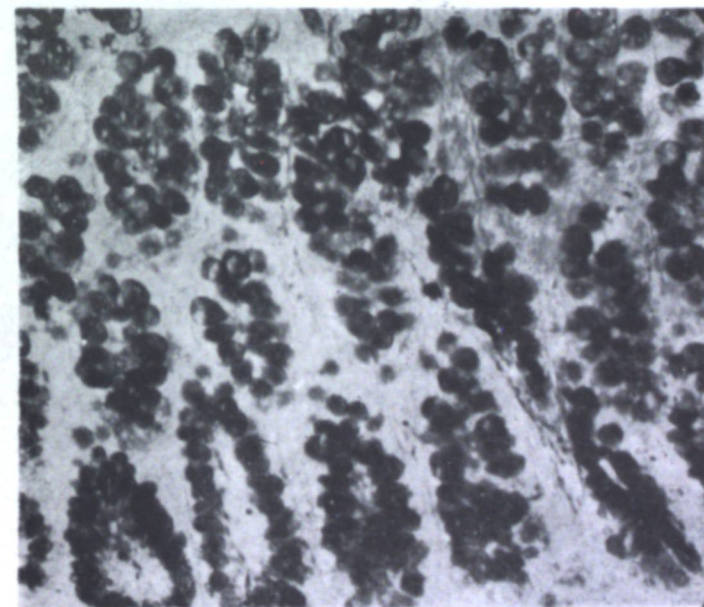


Рис. 3. Кислые мукополисахариды в бокаловидных клетках слизистой оболочки толстокишечного трансплантата через 20 дней после пластики. Количество клеток и их размеры увеличены. Окраска алциновым синим. Микрофото. Ок. 15, об. 20.

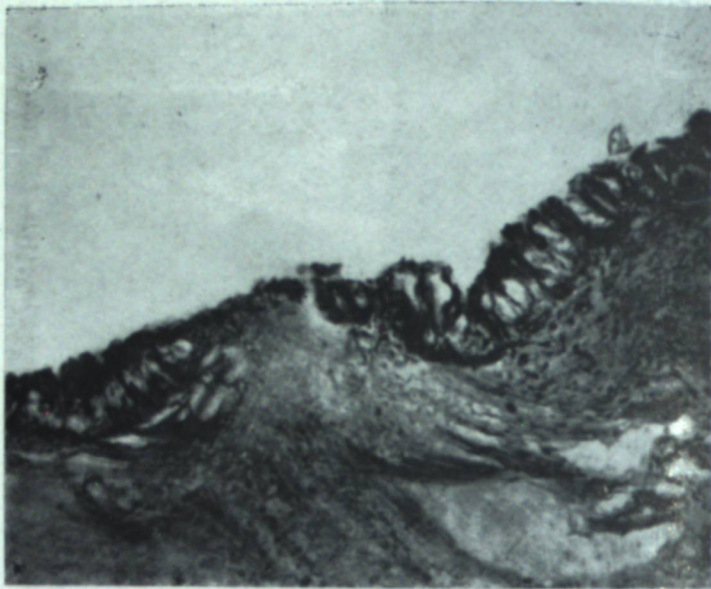


Рис. 4. Резкоположительная ШИК-реакция в переходном эпителии мочевого пузыря через 20 дней после сигмоидоцистопластики. ШИК-положительный материал содержится в клетках покровной, промежуточной и базальной зон переходного эпителиа. Микрофото. Ок. 15, об. 20.



Рис. 5. Гликоген в мышечной оболочке тонкокишечного трансплантата через 1 месяц после операции. ШИК-реакция. Микрофото. Ок. 10, об. 20.

эпидермального типа нарастать многослойным пластом на раневую поверхность в условиях регенерации ([15, 19] и др.); 2) более быстрой эпителизацией ран мочевого пузыря по сравнению с ранами различных отделов пищеварительного тракта, как это видно при сопоставлении данных по регенерации кишечника ([20, 21] и др.) и регенерации переходного эпителиа (см. [15]), [19]); 3) сохранением более или менее адекватной среды для эпителиа мочевого пузыря, в то время как трансплантат ставится в совершенно новые условия.

Существует зависимость между эпителизацией области анастомоза и степенью зрелости подлежащей соединительной ткани. В соответствии с данными Н. Н. Аничкова, К. Г. Волковой, В. Г. Гаршина [22], Г. Д. Князевой [23] и др. можно думать, что молодая грануляционная ткань, бога-



Рис. 6. Переходный эпителий, богатый гликогеном, на вершинах ближайших к линии анастомоза ворсинок тонкой кишки: 1 месяц после операции. ШИК-реакция. Микрофото. Ок. 15, об. 20.

тая клетками и мукоидными веществами, находящаяся на уровне соединения подслизистых слоев, создает условия для нарастания и прочного приживания эпителиа. В свою очередь, эпителиальный покров способствует созреванию подлежащей ткани.

Мы полагаем, что в условиях регенерации в эпителии мочевого пузыря, как и в других эпителиях эпидермального типа (см. [24]), происходит не только усиление расходования гликогена, но и избыточный синтез его. При этом создаются резервы питания в нарастающих клетках и обеспечивается возможность разрастания. Компактная пленка, располагающаяся на слизистой оболочке трансплантата, играет роль основы, по которой нарастает переходный эпителий. Этим объясняется наличие такого эпителиа на вершинах близлежащих ворсинок (рис. 6).

К 3-месячному сроку не выявляются отклонения в химизме волокон новообразованной соединительной ткани. Однако в области расположения шелковых нитей в течение длительного времени имеет место пролиферативное воспаление, здесь в значительном количестве представлены

кислые мукополисахариды. Шелковые лигатуры либо отходят в просвет мочевого резервуара в результате элиминативной функции кишечного или переходного эпителия, либо инкапсулируются, в первом случае они представляют собой основу для образования конкрементов. Существование очагов хронического воспаления и врастание эпителия может приводить к нарушению рубцевания и послужить причиной сужения пузырно-кишечного соустья.

Процессы регенерации и связанная с ними динамика мукополисахаридов при обоих видах пластики протекают однотипно, однако при колоцистопластике заживление протекает в присутствии больших количеств кислых мукополисахаридов, на уровне соединения подслизистых слоев такие вещества накапливаются здесь раньше, чем в случае илеоцистопластики, что расценивается как положительный момент в заживлении. Процесс формирования рубца на уровне соединения мышечных и серозных оболочек происходит несколько быстрее при колоцистопластике.

ВЫВОДЫ

1. При илео- и сигмоидоцистопластике происходят в основном однотипные изменения течения некоторых гистофизиологических процессов, связанных с обменом мукополисахаридов в тканях трансплантатов и мочевого пузыря. Изменения при этом представляют собой комплекс приспособительных реакций тканей на необычные условия функционирования.

2. Характер и степень таких реакций в совокупности с морфологическими деталями и цистометрическими данными позволяют говорить о преимуществах сигмовидной кишки при замещении части мочевого пузыря сравнительно с отрезком подвздошной кишки. Описываемые различия, как и различная цистометрическая характеристика, обусловлены физиологическими особенностями тонкой и толстой кишки.

3. В процессе заживления происходит прочное срастание стенок мочевого пузыря и трансплантата с полной эпителизацией линии анастомоза преимущественно за счет переходного эпителия.

4. Шелковые лигатуры, стходя в просвет мочевого резервуара и нарушая химизм формирования рубца, могут быть причиной камнеобразования и одной из причин стеноза пузырно-кишечного соустья.

5. Процессы заживления тонкокишечно- и толстокишечно-пузырного анастомоза протекают однотипно. Некоторая задержка процессов формирования рубца в случае илеоцистопластики связана с физиологическими особенностями тонкой кишки (живая перистальтика, содержание сильнодействующих протеолитических ферментов в кишечном соке).

Новокузнецкий государственный
институт усовершенствования врачей,
Институт экспериментальной биологии
и медицины
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
2/XII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Rosenberg, Experimentelle Harnblasenplastik. Virchows Arch. f. pathol Anat. u. Physiol., CXXXII, 1893.
2. G. G a z a, Experimentelle Untersuchungen über Vergrößerung der Harnblase durch angeschaltete Darmabschnitte. Zeitschr. Urol. Chir., Bd. XIII, H. 3/4, S. 129, 1923.
3. H. V i t h e n, Experimentelle Untersuchungen zur Vergrößerung der Blase mittels Anschaltung von Darmstücken. Dtsch. Zeitschr. f. Chir., Bd. 241, S. 84, 1933.

4. С. Д. Голигорский, Малый мочевой пузырь. Вопросы интестинальной пластики. Кишинев, 1959.
5. Е. П. Цветов, Морфологические изменения мочевых путей и заживление пузырно-кишечного анастомоза при кишечной пластике мочевого пузыря (экспериментальное исследование). Урология, № 6, стр. 14, 1959.
6. Е. П. Цветов, Морфологические изменения трансплантата при кишечной пластике мочевого пузыря. Новый хирург. архив, № 1, стр. 48, 1961.
7. В. В. Виноградов, Б. Б. Фукс, Дифференциальное гистохимическое выявление мукополисахаридов. Архив патологии, т. XXIII, № 2, стр. 74, 1961.
8. G. Müller, Histochemische Untersuchungen über die Glucoseresorption in Darm der weißen Maus. Acta histochem., Bd. 3, H. 5/6, S. 165, 1956.
9. W. Burkl, Zur Klassifizierung der Schleimdrüsensekrete in der Histologie. Zeitschr. f. Zelloforsch. u. mikr. Anat., Bd. 39, H. 1, S. 74, 1953.
10. С. М. Бычков, Мукополисахариды и мукопротеины и их роль в физиологии и патологии животного организма. Успехи биологической химии, т. 1, стр. 456, 1950.
11. А. М. Кузин, Биологические активные полисахариды. Успехи биологической химии, т. 2, стр. 256, 1954.
12. K. Göldi, Histochemische Reactionen in der normalen Harnblasenschleimhaut. Zeitschr. f. mikr.-anat. Forschung, Bd. 58, H. 2, S. 256, 1952.
13. А. Я. Фриденштейн, Распределение гликогена в мочевыводящей системе почки кролика при онтогенетическом развитии и введении питуитрина. Булл. эксп. биол. и мед., т. L. № 9, стр. 116, 1960.
14. K. Scheele, Die Dünndarmringsplastik der narbigen Schrumpfbilase. Leipzig, 1950.
15. А. Лежава, Сравнительный и экспериментальный анализ строения переходного эпителия мочевыводящих путей. Тбилиси, 1959.
16. А. Л. Шабадаш, Гистохимия гликогена нормальной нервной системы. М., 1949.
17. В. С. Песчанский, Метахромазия основного вещества дермы при заживлении ран и при нервнодистрофических поражениях кожи (экспериментальное исследование). Дисс. Астрахань, 1957.
18. M. Campani, O. Reggianini, Observations in the nature of the metachromatic ground substance in granulation tissue. The Journ. of. Pathology a. Bacteriology, vol. LXII, N 4, p. 563, 1950.
19. Н. В. Петропавловская, Реактивность эпителия мочевыводящих путей. Дисс. Л., 1952.
20. Н. И. Григорьев, О репаративной регенерации стенки кишечника млекопитающих. Сб. трудов., посв. 50-летию науч., педагог. и обществ. деят. В. Н. Тонкова, т. XXXVIII, М., 1947.
21. И. И. Дорохов, Динамика заживления операционных ран пищеварительного тракта и механизм возникновения раневых осложнений. Архив патологии, т. XXI, № 11, стр. 67, 1959.
22. Н. Н. Аничков, К. Г. Волкова, В. Г. Гаршин, Морфология заживления ран. М., 1951.
23. Г. Д. Князева, Сравнительное изучение процесса заживления ран у белых крыс в условиях тканевой терапии и без нее. Архив патологии, т. XV, № 3, стр. 41, 1953.
24. Е. Ш. Герловни, Конференция по гистохимии полисахаридов. Арх. анат., гистол. и эмбриол., т. XI, вып. 2, стр. 115, 1961.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

С. С. БАЦАНОВ

ЗАРЯДЫ АТОМОВ В ФЕРРОЦЕНЕ И ЕГО АНАЛОГАХ

В 1951—1952 гг. синтез нового металлоорганического соединения — ферроцена $Fe(C_5H_5)_2$ привел к открытию целого класса веществ — металлоценов. Последние обладают интересными физическими и химическими свойствами, в частности большой химической прочностью. Это сразу же привлекло к ним внимание исследователей и стимулировало изучение строения ферроцена и его аналогов [1, 2].

В 1952 г. Уилкинсон с сотрудниками [3, 4] высказали предположение, что ферроцен имеет сэндвичевую структуру и атом железа находится в электронном взаимодействии со всеми π -электронами. Эта точка зрения получила подтверждение в ряде структурных работ и в настоящее время является общепринятой (см. обзор в [5]).

Недавно Е. М. Шусторович и М. Е. Дяткина [6—11] методом молекулярных орбит рассчитали распределение зарядов в некоторых металлоценах. Данные этих авторов, как правило, согласуются с результатами рентгеноспектрального анализа таких соединений, выполненного Э. Е. Вайнштейном и Ю. Ф. Копелевым [12, 13]. Однако количественных результатов как экспериментального, так и теоретического исследования металлоценов все еще слишком мало по сравнению с числом синтезированных к настоящему времени соединений. Это делает целесообразным применение более простых методов расчета зарядов атомов в молекулах типа ферроцена.

Нами был избран метод электроотрицательностей и недавно было показано [14], что определение степени ионности связи и распределения зарядов в молекулах и кристаллах этим методом приводит к результатам, согласующимся с независимыми измерениями или расчетами. Поэтому можно рассчитывать на успех и в данном случае.

Расчет зарядов на атомах металлов в ферроцене и его аналогах производился следующим образом. Поскольку атом железа находится во взаимодействии с π -электронами всех атомов углерода в кольце, протяжение электронов от металла осуществлялось сразу всеми атомами углерода. Электроотрицательность углерода в ароматическом кольце равняется 2, 3 (см. [14, стр. 64]), и, следовательно, связь $Fe-C$ имеет 9% ионности [14, стр. 70]. Отсюда заряд на атоме железа, полученный от взаимодействия с одним углеродным атомом, равняется +0,09, а от всего кольца +0,45 e.

Поскольку появление положительного заряда у атома повышает его электроотрицательность на 0,4 для каждого +1 [15], то при вычислении ионности связи с другим кольцом следует иметь в виду, что X_{Fe} изменилась с 1,7 (для $z=0$) до 1,88 (для $z=+0,45$) и степень ионности связи Fe с C из другого кольца равна 5%. Заряд, который получает железо от второго кольца, равняется соответственно +0,25 e. Отсюда суммарный заряд на атоме железа в ферроцене будет равен, очевидно, +0,70 e.

Описанный порядок расчета зарядов, когда кольца мысленно присоединяются «по одному», описан нами подробно в книге «Электроотрицательность элементов и химическая связь» и отражает лишь то обстоятельство, что соударение трех частиц менее вероятно, чем двух. Однако после присоединения обоих колец C_5H_5 к Fe их свойства выравниваются и реальная степень ионности, конечно, будет средней из 1-й степени ионности — 9%, из 2-й — 5%. Величина же заряда на атоме железа от такого усреднения, естественно, не изменится.

В табл. 1 приведены значения электроотрицательностей металлов, степени ионности связи металлов с углеродным атомом 1-го кольца (i_{C_1}) и атомами C из 2-го кольца (i_{C_2}) и, наконец, величина суммарного заряда на атоме металла, равная $i_{C_1} \times 5 + i_{C_2} \times 5$, если имеем дело с молекулой типа $Me(C_5H_5)_2$. В случае молекул типа $Me(C_6H_6)_2$ $i_{C_{1,2}}$ умножается соответственно на 6. Для молекул типа $Me(C_5H_5)_3$ степень ионности связи с атомами углерода из 2-го и 3-го колец принимается одинаковой (см. [14, стр. 84]). Наконец, X_c в ароматических кольцах C_5H_5 и C_6H_6 везде принимается равной

Таблица 1

Заряды атомов в молекулах ферроценов

Me	X	Me (C ₅ H ₅) ₂			Me	X	Me (C ₅ H ₅) ₂		
		i _{C₁}	i _{C₂}	+z _{Me}			i _{C₁}	i _{C₂}	+z _{Me}
Mg	1,2	0,23	0,10	1,65	Mn	1,4	0,17	0,08	1,25
Ti	1,1	0,26	0,11	1,85	Fe	1,7	0,09	0,05	0,70
Sn	1,7	0,09	0,05	0,70	Co	1,7	0,09	0,05	0,70
Pb	1,6	0,11	0,07	0,90	Ni	1,8	0,07	0,04	0,55
V	(1,3)	0,20	0,09	1,45	Ru	2,0	0,03	0,02	0,25
Nb	(1,2)	0,23	0,10	1,65	Rh	2,1	0,02	0,02	0,20
Ta	(1,2)	0,23	0,10	1,65	Pd	2,1	0,02	0,02	0,20
Cr	1,4	0,17	0,08	1,25	Os	2,1	0,02	0,02	0,20
Mo	(1,4)	0,17	0,08	1,25	Ir	2,1	0,02	0,02	0,20
W	(1,4)	0,17	0,08	1,25	Pt	2,2	0,02	0,02	0,20

Me	X	Me (C ₅ H ₅) ₃			Me	X	Me (C ₅ H ₅) ₃		
		i _{C₁}	i _{C_{2,3}}	+z _{Me}			i _{C₁}	i _{C₂}	+z _{Me}
Al	1,5	0,14	0,06	1,30	V	(1,3)	0,20	0,07	1,62
Sc	1,3	0,20	0,09	1,90	Cr	1,4	0,17	0,07	1,44
Y	1,2	0,23	0,10	2,15	Mo	(1,4)	0,17	0,07	1,44
La*	1,2	0,23	0,10	2,15	W	(1,4)	0,17	0,07	1,44
Sm**	1,3	0,20	0,09	1,90	Fe	1,7	0,09	0,05	0,84
U	(1,3)	0,20	0,09	1,90	Ni	1,8	0,07	0,04	0,66
As	2,0	0,03	0,02	0,35	Ru	2,0	0,03	0,02	0,30
Sb	1,8	0,07	0,04	0,75	Pd	2,1	0,02	0,02	0,24
Bi	1,8	0,07	0,04	0,75	Pt	2,2	0,02	0,01	0,18

* То же, для Ce, Pr, Nd.

** То же, для Gd, Dy, Er, Yb.

2, 3, а X металлов для тех валентностей, для которых нет экспериментальных данных, вычислены экстраполяцией и заключены в скобки.

Некоторые из молекул были рассчитаны методом MO или изучены экспериментально. Так, для ферроцена Шусторович и Дяткина получили заряд на Fe , равный 0,68, Вайнштейн и Копелев +0,73, наше значение +0,70; для марганодена — по Вайнштейну и Копелеву +1,6, наше значение +1,25; для никелодена — по Вайнштейну +0,65, наше значение +0,55; для кобальтидена — по Шусторовичу и Дяткиной +0,20, наше значение +0,70; для $V(C_5H_5)_2$ Шусторович и Дяткина получили на атоме ванадия +1,0, наше значение +1,45; наконец, для дихромбензола теоретическое значение заряда +1,47, экспериментальное +1,5 и наше значение +1,44 e.

Из этого сравнения видно, что наши значения в пределах ошибки опыта совпадают с экспериментальными значениями и близки (в некоторых случаях несколько выше) к величинам зарядов, полученных методом MO .

В табл. 2 приведены результаты расчетов зарядов атомов в ионах типа феррициния, а именно в молекулах состава $Me(C_5H_5)_2Cl$ (левая часть таблицы) и $Me(C_5H_5)_2NO_3$ (правая часть таблицы). Значения X для Cl и NO_3 соответственно равны 3,1 и 3,6. Методика расчета аналогична приведенной выше с той лишь разницей, что вначале определяется ионность связи $Me-Cl$ или $Me-NO_3$, затем вносится поправка на изменение X металла в результате образования полярной связи и дальше определяются степени ионности связи $Me-C$, одинаковые для обоих колец.

Из табл. 2 видно, что ионы типа феррициния имеют практически одинаковое распределение зарядов независимо от того, какой анион имеется во внешней сфере. Формально рассуждая, можно прийти к выводу, что, когда во внешней сфере находится нулевое количество анионов, заряд на атомах металлов остается прежним.

Сравнение табл. 1 и 2 показывает, что различие зарядов Fe в ферроцене и в ионах феррициния не выходит за пределы влияния погрешностей в определении X на конечные результаты. Аналогичный результат был получен Вайнштейном и Копелевым экспериментально и Шусторович и Дяткиной теоретически.

Таблица 2

Заряды атомов в молекулах типа $\text{Me}(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Cl}$ и $\text{Me}(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{N}_3$

Me	X	i_{Cl}	i_{C}	$-z_{\text{Me}}$	i_{NO_2}	i_{C}	$+z_{\text{Me}}$
U	1,3	0,44	0,15	1,94	0,61	0,13	1,91
Tl	1,3	0,44	0,15	1,94	0,61	0,13	1,91
V	1,4	0,41	0,12	1,61	0,58	0,10	1,58
Cr	1,6	0,35	0,08	1,15	0,51	0,07	1,21
Mn	1,5	0,38	0,10	1,38	0,51	0,09	1,44
Fe	1,8	0,29	0,05	0,79	0,44	0,03	0,74
Co	1,7	0,32	0,06	0,92	0,47	0,05	0,97
Ni	1,8	0,29	0,05	0,79	0,44	0,03	0,74
Ru	2,0	0,23	0,02	0,43	0,38	0,02	0,58
Rh	2,1	0,20	0,01	0,30	0,35	0,01	0,45
Pd	2,1	0,20	0,01	0,30	0,35	0,01	0,45
Os	2,1	0,20	0,01	0,30	0,35	0,01	0,45
Ir	2,1	0,20	0,01	0,30	0,35	0,01	0,45
Pt	2,2	0,17	0,00	0,17	0,32	0,00	0,32

Здесь следует только отметить, что близость зарядов на атомах металлов не является следствием одинакового характера связей внутри π -комплекса, а вызывается как раз обратной причиной. Именно, чем более полярна связь Me -анион, тем более ковалентна связь внутри комплекса, благодаря чему происходит компенсация зарядов.

Сравним теперь результаты расчетов конкретных ионов. Для феррициния Вайнштейн и Копелев получили заряд на Fe, равный +0,68, Шусторович и Дяткина +0,6. Числа вычисления дали +0,74—0,79; для кобальтциния экспериментальный заряд равняется +0,8, метод MO дает —0,12, наши расчеты +0,92—0,97; наконец, Шусторович и Дяткина для никелециния получили заряд на металле —0,6, наши расчеты привели к значению +0,74—0,79 e. Учитывая близость зарядов на атомах металлов в молекулах к соответствующим ионам и то обстоятельство, что Вайнштейн и Копелев для никелециния получили экспериментально заряд +0,65, можно считать наш результат более соответствующим истине, чем данные Шусторовича и Дяткиной.

Расчеты распределения зарядов в π -комплексах методом электроотрицательностей весьма просты и, как было показано выше, достаточно надежны. Их можно без труда распространить на случаи замещенных циклопентадиенов и бензолов, причем сразу же видно, что замещения в кольцо не приведут к существенному изменению величин зарядов на атомах металлов.

Зная степень ионности связи $\text{Me} - (\text{C}_5\text{H}_5)$, можно определить ее энергию, заменяя мысленно этот радикал на один атом, с той же ионностью связи. Однако такие расчеты не являются целью данной работы, в которой мы хотели только продемонстрировать применимость концепции электроотрицательностей к решению сложных задач современной структурной химии.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
28/IV 1962

ЛИТЕРАТУРА

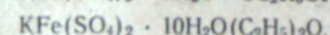
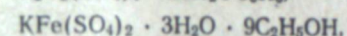
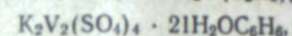
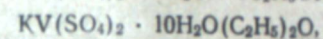
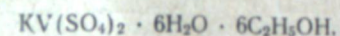
1. T. Kealy, P. Pauson. *Nature*, **168**, 1039 (1951).
2. S. Miller, J. Tebbots, J. Tremain. *J. Chem. Soc.*, **1952**, 632.
3. G. Wilkinson, M. Rosenblum, M. Whitting, R. Woodward. *J. Am. Chem. Soc.*, **74**, 2125 (1952).
4. G. Wilkinson, M. Whitting, R. Woodward. *J. Amer. Chem. Soc.*, **74**, 3458 (1952).
5. М. Е. Дяткина. *Успехи хим.*, **27**, 55 (1958).
6. Е. М. Шусторович, М. Е. Дяткина. *Докл. АН СССР*, **128**, 1234 (1959).
7. Е. М. Шусторович, М. Е. Дяткина. *Докл. АН СССР*, **131**, 113 (1960).
8. Е. М. Шусторович, М. Е. Дяткина. *Докл. АН СССР*, **133**, 141 (1960).
9. Е. М. Шусторович, М. Е. Дяткина. *Журн. неорган. хим.*, **4**, 553 (1959).
10. Е. М. Шусторович, М. Е. Дяткина. *Журн. неорган. хим.*, **6**, 1247 (1961).
11. Е. М. Шусторович, М. Е. Дяткина. *Журн. структ. хим.*, **2**, 49 (1961).

12. Э. Е. Вайнштейн, Ю. Ф. Копелев. *Докл. АН СССР*, **137**, 1117 (1961).
13. Э. Е. Вайнштейн, Ю. Ф. Копелев. *Журн. структ. хим.*, **3**, № 4 (1962).
14. С. С. Баданов. *Электроотрицательность элементов и химическая связь*. Изд. СО АН СССР, 1962.
15. Л. Паулинг. *Природа химической связи*. Госхимиздат, 1947.

К. А. ЮДИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ ВКЛЮЧЕНИЯ КВАСЦОВ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ МЕТОДОМ ТЕРМОГРАФИИ

Нами получены соединения включения квасцов с органическими жидкостями с максимальным количеством включенных молекул при 20° и нормальном давлении следующего состава [1]:



У хромокалиевых квасцов химическим анализом соединений включения не обнаружено. Термографические кривые были сняты при использовании тигельной печи, постепенный нагрев которой (4°/мин) обеспечивался автотрансформатором ЛАТР-1. Эталон и образец, заключенные в керамические тигли размером 1,0 × 0,7, помещали в тигельную печь. Изменения, происходящие в образце и сопровождающиеся тепловым эффектом, регистрировались дифференциальной никель-нихромтермопарой, спай которой были вставлены в середины образца и эталона, а свободные концы подключены к зеркальному гальванометру типа ГЗБ-47 с чувствительностью 19 мк/а. В качестве эталона применяли MgO.

В качестве исходных веществ были взяты ванадиевокалиевые квасцы, приготовленные методом, описанным в литературе [2]. Для приготовления железокалиевых квасцов в качестве исходных веществ были взяты $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ марки ч. и сульфат калия марки х.ч. Кристаллизация их приводилась из сернокислых растворов (1 : 3) при температуре —8°С для железных квасцов и при 20° для ванадиевых. Степень чистоты полученных препаратов 99,790. Соединения включения получались при растирании квасцов с органическими жидкостями: этиловым спиртом, этиловым эфиром, бензолом в течение 20 мин.

Полученные термографические кривые изображены на рис. 1—3. При сравнении дифференциальных кривых, полученных при термическом разложении чистых ванадиевых квасцов (рис. 1, кривая I), и соединения включения их с эфиром (рис. 1, кривая II) и бензолом (рис. 2, кривая II), видно, что они имеют много общего. На всех трех кривых наблюдается тепловой эффект, возникший при плавлении в кристаллизационной воде, максимумы лежат при 55, 56, 58°. При разложении соединений включения с бензолом и эфиром возникают новые тепловые эффекты при 118° (см. рис. 2) и 112° (см. рис. 1), вероятно, в результате удаления включенных органических веществ. Затем происходит удаление воды до образования безводной соли при 207, 204 и для чистых квасцов при 208°.

При этом на кривой термического разложения соединения включения с бензолом наблюдается тепловой эффект, максимум которого лежит при 171°, при этой же температуре на кривой дегидратации чистых квасцов имеется тепловой эффект, возникший при удалении цеолитовой воды. Дифференциальная кривая термического разложения соединения включения со спиртом (рис. 2 кривая I) резко отличается от кривой дегидратации чистых квасцов. Тепловой эффект плавления в кристаллизационной воде отсутствует. На кривой имеются два тепловых эффекта в температурном интервале от 72 до 168° и от 168 до 250°. На кривой видно, что каждый тепловой эффект образуется еще по два небольших тепловых эффекта, максимумы которых лежат при 136, 145, 186 и 205°. Только максимум теплового эффекта при 205° совпадает с эффектом, характерным для дегидратации чистых квасцов. Величина тепловых эффектов на кривой термического разложения соединения включения со спиртом меньше, чем величина тепловых эффектов при разложении чистых квасцов. Таким образом, результаты изучения соединений включения ванадиевых квасцов подтверждают данные химического анализа их.

Резкое отличие термограмм термического разложения соединений включения со спиртом от термограмм дегидратации чистых квасцов говорит о полном замещении цеолитной воды на спирт. Для соединений включения с эфиром и бензолом происходит частичное замещение цеолитной воды на органические вещества, так как сохраняется эффект при 171° (см. рис. 2), и тепловые эффекты удаления воды мало отличаются по величине, а максимумы их лежат при близких температурах.

При сопоставлении дифференциальных кривых дегидратации железных квасцов (рис. 3, кривая I) и их соединения с эфиром (рис. 3, кривая III) видно,



Рис. 1. Дегидратация ванадиевых квасцов (кривая I) и термическое разложение соединений включения ванадиевых квасцов с эфиром (кривая II).



Рис. 2. Термическое разложение соединений включения ванадиевых квасцов со спиртом (кривая I) и бензолом (кривая II).

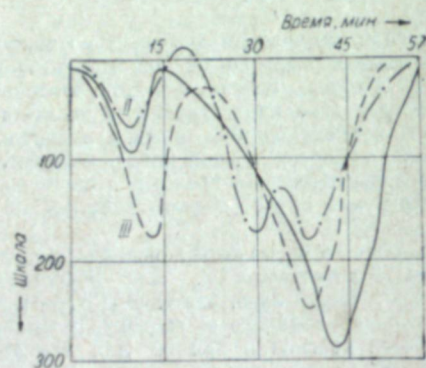


Рис. 3. Дегидратация железных квасцов (кривая I) и термическое разложение соединений включения железных квасцов со спиртом (кривая II) с эфиром (кривая III).

что они имеют по два тепловых эффекта. Причем первый тепловой эффект при разложении соединения включения с эфиром возникает при более высокой температуре (52° вместо 42°) и больше по величине, чем у чистых квасцов. Второй эффект, наоборот, возникает при более низкой температуре (154° вместо 171°) и меньше по величине, чем у чистых квасцов, так как включенное вещество расшатывает связи между молекулами воды и ионами.

Можно сделать заключение, что при плавлении соли в кристаллизационной воде при 52° возникает не только эффект, но и происходит удаление эфира. На термограмме соединения включения отсутствует новый эффект удаления включенного вещества по сравнению с термограммой чистых квасцов, это говорит об образовании мало прочного соединения включения.

У железных квасцов дифференциальная кривая термического разложения соединения включения со спиртом отличается от кривой дегидратации чистых квасцов. На кривой (см. рис. 3, кривая II) имеются три тепловых эффекта, максимумы которых лежат при 39, 118, 153°. Тепловой эффект при 39° возникает при плавлении в кристаллизационной воде, затем наблюдается выкипание раствора, сопровождающееся удалением спирта при 118° и оставшихся молекул воды при 153°. Величина тепловых эффектов меньше, чем при дегидратации чистых квасцов. По виду термограмм соединения включения со спиртом нельзя сделать вывод о замещении цеолитной и части кристаллизационной воды на спирт, так как на термограмме чистых квасцов отсутствует эффект удаления цеолитной воды.

При сопоставлении температуры термического разложения соединений включения ванадиевых и железных квасцов видно, что наиболее прочные соединения включения образуются у ванадиевых квасцов и менее прочные у железных квасцов (см. таблицу).

Квасцы	Температура разложения		
	спирт	бензол	эфир
Ванадиевые квасцы	136	118	112
Железные »	118	52	—

Если расположить квасцы в порядке устойчивости соединений включения их с органическими веществами, то получим ряд, обратный ряду ионизационных потенциалов этих ионов.

Третий ионизационный потенциал $V^{+3} > Fe^{+3} > Cr^{+3}$
30,3 < 31,7 < 32

В этом ряду соединения включения железных квасцов с эфиром являются переходными к хромовым квасцам, которые с органическими веществами устойчивых соединений включения не образуют.

ВЫВОД

Устойчивость соединений включения квасцов с органическими веществами увеличивается с уменьшением степени ковалентности связи $M^{+3} - O$ в комплексном ионе.

Красноярский институт
цветных металлов

Поступила в редакцию
18/X 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. К. А. Юдина. Докл. I Всес. межвузовской конф. по химии органич. комплексных соединений. Томск, 1959.
2. Gmelin—Krautz, Handbuch der anorganischen chemie, 3, 142, 1912.

А. М. КОМЛЕВ

МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЗАРЕГУЛИРОВАННОСТИ РЕЧНОГО СТОКА

Одним из основных факторов естественной зарегулированности речного стока является замедленное стекание значительной части атмосферных осадков в речную сеть в виде грунтовых вод. В последнее время все на большем количестве примеров показывается, что основной формой стекания атмосферных осадков в речную сеть как в равнинных [1—4 и др.], так и в горных [5—9 и др.] бассейнах является именно грунтовый сток. В ряде случаев поверхностный сток может вообще практически отсутствовать. В этих условиях многочисленные методы выделения на гидрографах грунтового (или подземного) питания (даже если они и верно определяют его общий объем) теряют свое значение, ибо не дают ответа на основной практический вопрос — какова степень естественной зарегулированности речного стока.

С целью количественной оценки этой зарегулированности нами на примере горных рек бассейна Катунь разработан способ графического расчленения гидрографа, основанный на применении кривых истощения. Этот способ применим для тех речных бассейнов, в которых наблюдается относительно постоянная функциональная зависимость между запасами гравитационных вод в бассейне и величиной расхода в замыкающем створе реки. Именно такая зависимость практически существует на горных реках бас-

сейна Катунь, на гидрографах стока которых элементы спада отдельных пиков весеннего половодья или дождевых паводков представляют собой отрезки одной общей кривой истощения. Исключение составляют лишь первые весенние пики, спад которых обычно более крутой*.

Суть способа кратко состоит в следующем. Совмещая отрезки спада отдельных пиков половодья или дождевых паводков, строим кривую спада AB (см. рисунок), иллюстрирующую характер истощения запасов воды в бассейне при условии, что они не пополняются с момента начала спада (точка A). Задаемся далее конкретным сроком, определяющим продолжительность истощения, например месяц, и находим на указан-

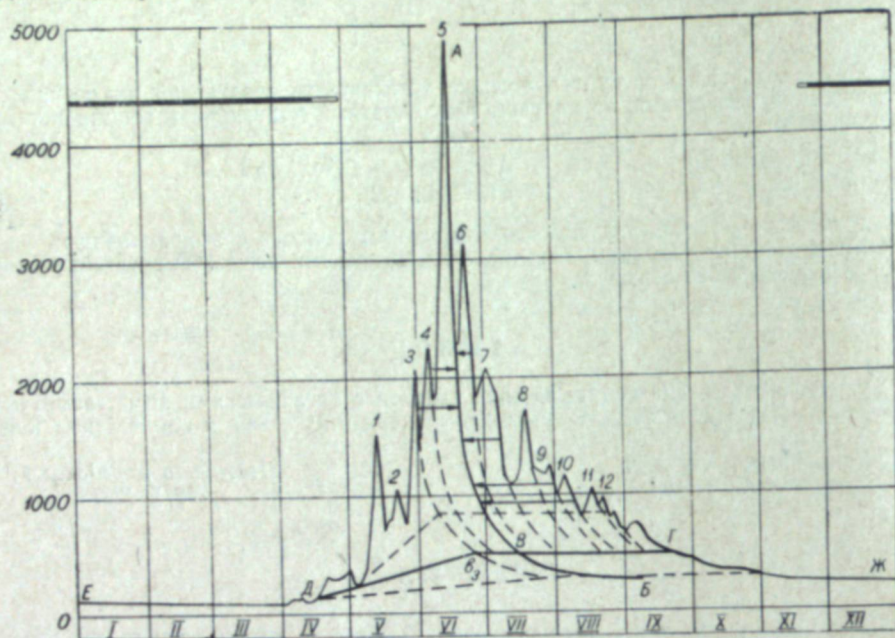


Схема расчленения гидрографа по степени естественной зарегулированности речного стока (р. Катунь—Стростки, 1936 г.).

ной кривой точку B , соответствующую этому сроку. Из точки B влево и вправо от кривой проводим горизонтальную линию. Вправо эта линия проводится до пересечения с линией гидрографа (точка $Г$), влево — до пересечения спада первого из весенних пиков, у которых этот спад происходит параллельно кривой истощения AB (пик 3). Отметив это пересечение точкой b_3 , проводим из нее прямую линию до точки D , соответствующей началу увеличения весеннего стока. В результате получаем границу $EДb_3ВГЖ$, разделяющую годовой объем стока на две категории: сток с зарегулированностью менее месяца (верхняя часть гидрографа) и сток с зарегулированностью более месяца (нижняя его часть).

Аналогичным образом можно выделить границу с любой заданной зарегулированностью, т. е. получить полное представление о характере естественной зарегулированности речного стока. (На рисунке выше и ниже месячной границы проведены штриховые линии, соответствующие продолжительности истощения 0,5 и 2,0 месяца).

Определив планиметрированием площади выделенных участков на гидрографе, получаем цифровые значения степени той или иной зарегулированности стока. Так, на реках Катунь ($F=58\,400\text{ км}^2$), Чуе ($F=10\,600\text{ км}^2$), Коксе ($F=5650\text{ км}^2$), Урсуле ($F=3260\text{ км}^2$) и Семе ($F=490\text{ км}^2$) от 40 до 50% воды стекает в речную сеть в течение полумесяца с момента поступления ее на поверхность бассейна, от 8 до 17% за период от полумесяца до одного месяца и от 5 до 11% от месяца до двух (в среднем за два года, водность которых близка к норме).

Учитывая, что графическое построение нижней части кривой истощения наиболее сложно, оценку объема стока с большей зарегулированностью можно производить путем экстраполяции этой кривой, составив предварительно ее уравнение.

* Здесь может сказываться увеличение поверхностного стока по неоттаявшей почве, а также истощенность запасов грунтовых вод в бассейне к началу снеготаяния.

Полученные изложенным методом конкретные данные о характере естественной зарегулированности речного стока имеют не только практическое значение в вопросах комплексного использования водных ресурсов; их можно использовать и при уточнении (конкретизации) таких понятий, как «подземный сток», «грунтовый сток» и другие, т. е. разделять подземные воды по степени их зарегулированности.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Получена в редакцию
14/III 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Макаренко, О подземном питании рек. Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, т. I, 1948.
2. С. Н. Боголюбов, З. П. Богомазова, О роли подземного питания в годовом стоке рек и временных водотоков. Тр. ГГИ, вып. 52 (106), 1956.
3. А. И. Субботин, Об использовании наблюдений за подземными водами при исследованиях и прогнозах речного стока. Тр. III Всес. гидрогич. съезда, т. IX, 1959.
4. О. И. Крестовский, Грунтовое питание малых водотоков в период весеннего половодья. Тр. ГГИ, вып. 81, 1960.
5. Н. Г. Дмитриева, Прогноз стока горных рек. Тр. ЦИП, вып. 59, 1957.
6. Г. П. Калинин и Г. С. Абаляян, Об определении подземного питания рек. Метеорология и гидрология, № 5, 1957.
7. В. М. Лыло, К вопросу о роли подземных вод в питании некоторых рек Восточной Сибири. Тез. докл. 2-го совещ. по подземным водам и инженерной геологии Вост. Сибири, вып. I. Чита, 1958.
8. А. Н. Важнов, О подземном питании горных рек в период половодья и летней межени. Тр. ЦИП, вып. 96, 1960.
9. А. М. Комлев, К вопросу о формировании стока в бассейне р. Катунь (Горный Алтай). Тр. ТЭИ. СО АН СССР, вып. XIII, 1961.

Е. Н. МЕШАЛКИН, Е. П. КЕЛИН

ЗАКРЫТИЕ ДЕФЕКТА МЕЖЖЕЛУДОЧКОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ ПРАВОЕ ПРЕДСЕРДИЕ ПОД ГИПОТЕРМИЕЙ

Дефект межжелудочковой перегородки — один из наиболее часто встречающихся врожденных пороков сердца. При сообщении между правым и левым желудочками у больных наблюдаются значительные сдвиги в гемодинамике. Кровь из левого желудочка под большим давлением через дефект сбрасывается в правый, вследствие чего в малом круге кровообращения постоянно циркулирует балластная кровь, которая не участвует в дыхательных процессах тканей. На повышение давления сосуды малого круга сначала отвечают спазмом, а затем в них развиваются необратимые склеротические изменения, что, в свою очередь, углубляет патологию дыхания.

Значительный сброс артериальной крови из левого желудочка в правый может привести к обеднению большого круга кровообращения. Чтобы этого не произошло, левый желудочек работает более интенсивно, обеспечивая таким образом артериальной кровью большой круг кровообращения. Вследствие усиленной работы наступает его гипертрофия.

В поздних стадиях порока, когда в силу появления органических изменений сосудов легких сопротивление току крови малого круга значительно возрастает, появляется и нарастает гипертрофия правого желудочка, давление в его полости растет и начинает превышать давление в левом. Наступает перемена направления шунта, у больного появляется цианоз.

Дефект межжелудочковой перегородки неизбежно приводит больного к гибели из-за недостаточности сердца и легких или же из-за развития септического эндокардита, так как последний, как правило, возникает в области краев дефекта. Консервативных методов лечения данного порока не существует. Только хирургическое закрытие дефекта межжелудочковой перегородки способно полностью излечить больного.

В 1952—1954 гг. были предприняты первые попытки закрытия дефекта межжелудочковой перегородки вслепую Бейли, Хуфнагелем и др. [1], однако, операции эти не смогли обеспечить стойкого положительного эффекта и были скоро оставлены.

В 1954 г. Кэрклин [2], Лиллехей [3] сумели закрыть дефект межжелудочковой перегородки под перекрестным кровообращением — большой подключился к сосудам дорнора, сердце и легкие которого обеспечивали артериальной кровью обоих. Это позволило отключать сердце больного, лигируя его большие сосуды, и закрывать дефект, вскрывая широким разрезом свободный от крови правый желудочек. С 1955 г. эти же авторы начали оперировать, применяя искусственное сердце-легкие. В настоящее время создано большое число насосов-оксигенаторов, способных надежно обеспечить искусственное кровообращение, а методика закрытия дефектов межжелудочковой перегородки с его применением достаточно отработана как за рубежом, так и в Советском Союзе ([2, 4—8] и др.).

Недостатком искусственного кровообращения является его значительная техническая сложность. Вследствие несовершенства конструкций искусственных легких для заливки аппарата на одну операцию необходимо большое количество специально подготовленной крови (около 2 л, т. е. 8—10 ампул). Дороги и сложны и сами аппараты. Организация искусственного кровообращения требует не только затраты больших средств, но и специального штата сотрудников: гематологов, биохимиков, физиологов, инженеров и среднего персонала. Сложна подготовка аппаратов к операции, очень сложен отбор доноров для получения соответствующей крови.

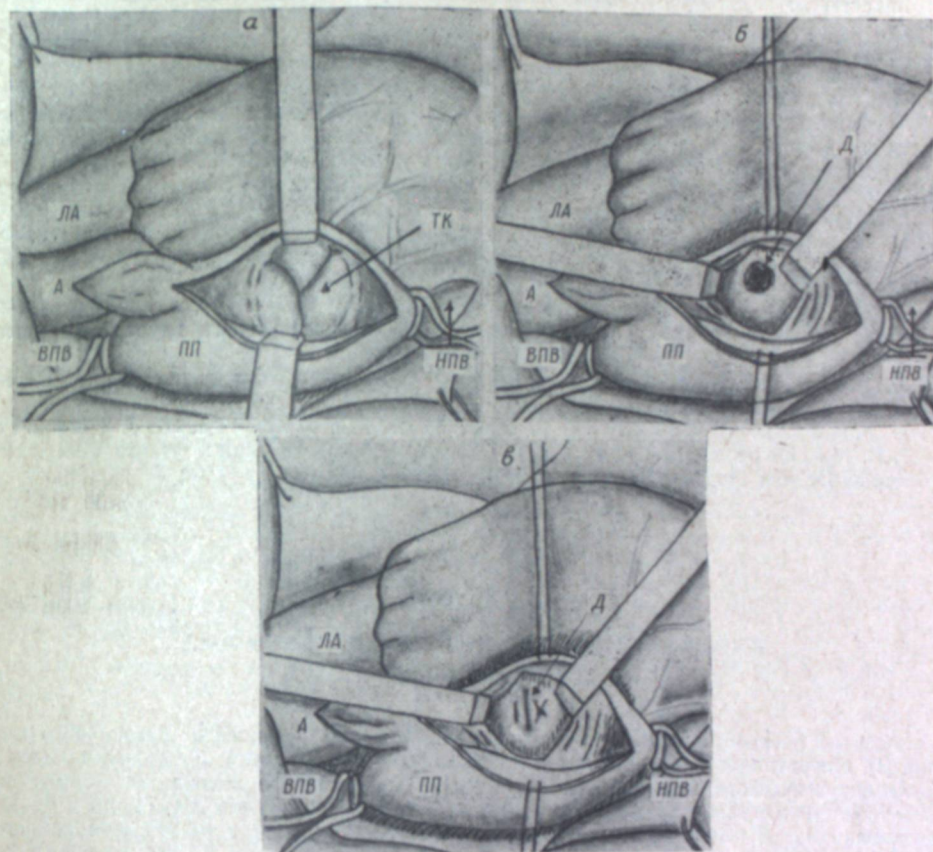
Имеет недостатки и существующая в настоящее время техника закрытия межжелудочковой перегородки, которая с целью лучшего обозрения межжелудочковой перегородки предусматривает широкое рассечение передней стенки правого желудочка. При данном пороке, как указано выше, всегда существует какая-то степень легочной гипертензии, а следовательно, и гипертрофия правого желудочка, работающего с повышенной нагрузкой. Гипертрофия — это состояние, при котором резервы органа малы. Гипертензия малого круга кровообращения после закрытия дефекта снижается не сразу, и правому желудочку приходится некоторое время работать еще с повышенной нагрузкой. Травма желудочка в этих условиях может подорвать его силы и привести к его остановке. Это побудило хирургов искать другие оперативные доступы к дефекту межжелудочковой перегородки.

В 1958 г. Кули [9] первый высказал мысль, что небольшой дефект может быть закрыт под искусственным кровообращением через правое предсердие и что его в некоторых случаях легче закрыть, чем через желудочек. Лиллехей в том же году рекомендовал закрывать межжелудочковые дефекты дакроновой заплатой доступом через правое предсердие также под искусственным кровообращением. В 1960 г. Кэй, Толентино, Андерсен, Дикстра, Шапиро и др. [10] опубликовали статью, в которой четко обосновали необходимость чрезпредсердного закрытия дефекта межжелудочковой перегородки, осложненного легочной гипертензией. Больных они оперировали по своей методике под искусственным кровообращением. Если им встречался низкий дефект, приходилось рассекать, а после закрытия дефекта снова сшивать септальную створку трехстворчатого клапана, что обеспечивало лучший доступ к дефекту. Такой доступ позволял им закрывать дефект и с помощью дакроновой заплатки. Больные, по их мнению, значительно лучше переносили операцию с доступом через предсердие, чем через желудочек.

В институте экспериментальной биологии и медицины СО АН СССР в 1961 г. было оперировано четверо больных с дефектом межжелудочковой перегородки, у которых небольшие дефекты межжелудочковой перегородки были закрыты под гипотермией чрезпредсердным доступом. Все эти больные хорошо перенесли операцию и в настоящее время чувствуют себя удовлетворительно. Повторный осмотр не выявил у них рецидива или остаточного сброса.

Нами применялась следующая методика (см. рисунок). Под физической гипотермией (обкладывание больного резиновыми пузырями, наполненными льдом) не ниже 31—32° С, чрездвухплевральным доступом по 4-му межреберью вскрываются обе плевральные полости. Перикард рассекается крестообразным разрезом. Полые вены после препаровки у мест владения в правое предсердие окружаются резиновыми лигатурами. На переднюю стенку правого предсердия накладываются два полукисетных шва атраматическими иглами таким образом, чтобы в области, отграниченной ими, можно было произвести продольный разрез 6—8 см, направленный от основания правого ушка к устью нижней полой вены. Свободные концы швов связываются с одной стороны. Область, отграниченная полукисетными, захватывается в эластичный ушковый зажим, и на ней проводится указанный выше разрез. Пережимаются последовательно нижняя и верхняя полые вены, через 20—30 сек пережимаются мягким зажимом легочная артерия и аорта, снимается зажим со стенки предсердия. Край разреза растягиваются крючками Фарабефа, после чего хорошо виден трехстворчатый клапан, а после отведения крючком его септальной створки — вся межжелудочковая перегородка и дефект в ней. Дефект ушивается 2—3 одиночными швами атраматической иглой. Последний из них завязывается лишь после изгнания воздуха из полости левого желудочка, для чего

анестезиологу необходимо сделать форсированный вдох при помощи дыхательного мешка. Это заставит кровь, находившуюся в легких, заполнить левое предсердие и желудочек. Перед затягиванием полукисетов путем связывания их свободных концов между собой следует заполнить кровью правое предсердие, для чего кратковременно ослабляется лигатура на одной из полых вен. Предсердие закрывается, освобождаются легочная артерия и аорта, а затем верхняя полая вена. Снятие лигатуры с нижней



Методика закрытия дефекта межжелудочковой перегородки.

А — правое предсердие (ПП) рассечено продольным разрезом, виден трехстворчатый клапан (ТК). Верхняя (ВПВ) и нижняя (НПВ) полые вены пережаты резиновыми лигатурами. Б — створки трехстворчатого клапана оттянуты крючками — виден дефект межжелудочковой перегородки (Д). В — дефект ушит одним П-образным швом. Аорта (А), легочная артерия (ЛА).

полной вены должно производиться лишь через некоторый промежуток времени, длительность которого обуславливается состоянием деятельности сердца. Быстрое освобождение обеих полых вен может привести к чрезмерной и внезапной перегрузке правого желудочка, его фибрилляции и остановке.

Данная методика позволяет выполнить операцию менее, чем за 5 мин, в течение которых можно отключать сердце под гипотермией. Она дает возможность сократить применение дорогостоящего искусственного кровообращения и применять его лишь там, где в нем имеется насущная потребность. Данная методика позволяет избежать травмирования патологически измененного правого желудочка у больных дефектом межжелудочковой перегородки.

Указаний по применению данной методики под гипотермией в зарубежной и отечественной литературе мы не встретили, это позволяет нам думать, что данная методика применена впервые нами.

Институт экспериментальной биологии и медицины
Сибирского отделения АН СССР
Новосибирск

Поступила в редакцию
25/XII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. C. P. Bailey. Surgery of the Neart-Ventricular Septal Defect. Philadelphia, 1955, p. 356—376.
2. J. W. Kirklin, Intracardiac Surgery with Aid of a Mechanical Pump-Oxygenator System-report of 8 cases. Proc. Staff. Meet Mayo clinic, 30, 201—206, 1955.
3. C. W. Lillechey M. Cochen, H. E. Warden, R. L. Vargo, The Direct vision intracardiac correction of congenitae Anomalies by controlled cross circulation. Surgery, 38, 11—29, 1955.
4. C. W. Lillechey, Contribution of open cardiotomy to the Correction of Congenital and Acquired Cardiac Disease. New England J. med., 258, 1044, 1958.
5. H. E. Warden, R. A. De Wall, M. Cochen, R. L. Vargo, C. W. Lillechey, A Surgical-pathological classification for isolated Ventricular Septal Defect and for those in Fallot's Tetralogy based on observations made on 120 patients during repair under direct vision. The J. or. Thoracic Surgery, 33, 21—44, 1957.
6. C. Crafoord, B. Norberg, A. Senning, Clinical Studies in Extracorporeal Circulation with a Heart-Lung Machine. J. A. C. S., 112, 3—4, 1957.
7. С. А. Колесников, Операции на открытом сердце в условиях искусственного кровообращения. Тез. докл. V науч. сессии Ин-та грудной хирургии АМН СССР. М., 21—23 февраля 1961, стр. 3—5.
8. Л. Н. Сидаренко, Операции с использованием А. И. К. при изолированных дефектах перегородок сердца. Тез. докл. V науч. сессии Ин-та грудной хирургии АМН СССР. М., 21—23 февраля 1961, стр. 31.
9. D. A. Cooley, Current Status of Surgical Treatment of ventricular Septal Defect Diseases of the Chest, 35, 6, 651, 1959.
10. I. H. Kay, R. M. Andersen, P. Tolentino, P. Dykstra, M. J. Shapiro, I. E. Meihaus, O. Magidson, The Surgical Repair of high Pressure Ventricular Septal Defects thorough the right atrium. Surgery, 43, 65—74, 1960.

К. П. БУТЕЙКО

КАЛИБРОВАННАЯ БАЛЛИСТОКАРДИОГРАММА ПРИ МИТРАЛЬНЫХ ПОРОКАХ

Самым распространенным пороком сердца является поражение митрального клапана [1]. Оперативное лечение наиболее эффективно при «чистом» митральном стенозе. Успех хирургического вмешательства при митральном стенозе зависит от степени недостаточности митрального клапана, которая не только трудно устранима, но и трудно распознаваема. В таких случаях ошибочная диагностика может привести к неблагоприятному исходу.

Появление некалиброванной методики баллистокардиографии (БКГ) побудило исследователей к поискам специфических для митрального порока изменений формы кривых [2, 3]. Исследования на системах баллистокардиографических столов [4, 5] привели к противоречивым мнениям о деформации отдельных волн и интервалов БКГ [1, 6].

Широкое использование самой простой методики некалиброванной прямой баллистокардиографии по Доку [7] как в нашей стране, так и за рубежом также не выявляет специфических для митрального порока изменений формы кривых [8—10]. У значительной части митральных больных резкая деформация кривых не позволяет отыскать даже отдельные волны. Изменения формы кривых не были найдены и при экспериментальной митральной недостаточности [11].

Таким образом, в период развития качественной баллистокардиографии, изучавшей изменения только формы отдельных волн, не было найдено достоверных признаков для распознавания стеноза и недостаточности митрального клапана. Некоторые авторы калибровали БКГ скорости, но определяли только величину интервалов H_i , iI и т. д. [12], что не позволяет найти величину отдельных волн и сравнить с данными наших исследований. Большинство авторов рассчитывало время появления волны не от начала кардиоцикла, стображенного на электрокардиограмме, началом комплекса QRS, а от вершины зубца R, расположенного в различных участках QRS, что вносило нестандартную ошибку в расчеты [5, 13, 14].

Появление более совершенной и простой методики калиброванной баллистокардиографии [15, 16] и более рациональных методов расчета величины отдельных волн и временных соотношений позволяет перевести баллистокардиографию в более совершенную количественную область с точными измерениями абсолютной величины волн и сопоставлением статистически обработанных данных для здоровых и больных митральными пороками.

С целью определения значения калибровки прямых баллистокардиограмм в диагностике митрального порока нами было проведено обследование и сопоставление БКГ 120 больных, прооперированных по поводу митрального стеноза, и 120 здоровых лиц.

Прямые калиброванные БКГ смещения, скорости и ускорения с голени регистрировались синхронно с одним отведением электрокардиограммы патошак после 15—20-минутного отдыха при обычном дыхании, на глубоком вдохе и полном выдохе. Фазы дыхания определялись по кривой смещения. Величина волн баллистокардиограмм отсчитывалась по перпендикуляру от изолинии до вершины у семи основных волн H_i , i , J , K , L , M , N . Время отсчитывалось от начала комплекса QRS до вершины всех семи волн. Так как БКГ у мужчин и женщин не имеют видимых различий, то все данные по здоровым и больным рассчитывались одновременно для обоего пола. Из 120 больных 76 относились к III стадии заболевания (по классификации Е. А. Дамир [1]), а остальные — к IV стадии. Больных I, II и V стадий было мало, и они не подвергались статистической обработке.

Сопоставление данных здоровых и больных митральными пороками показывает, что столь разноречивые мнения об изменении формы баллистокардиограмм при митральном пороке связаны не только с различными методами регистрации баллистокардиограмм, но и с большой индивидуальной изменчивостью формы кривых у митральных больных. При этом отмечается закономерное уменьшение волн по мере прогрессирования митрального стеноза и увеличение волн с развитием недостаточности митрального клапана. Различие в величине волн нарастает с переходом болезни из более ранней, третьей стадии в более позднюю, четвертую стадию заболевания.

У 30 больных отмечалась резкая деформация кривых (отдельные волны не определялись). Эти кривые расчетам не поддавались и по форме не могли принести пользы качественному анализу. Использование калиброванных БКГ с учетом общей величины деформированных систолических комплексов и сопоставление их с величиной комплексов здоровых показывает ту же закономерность для стеноза и недостаточности, что и у митральных больных с мало деформированными кривыми. Как для митрального стеноза, так и для недостаточности характерно уменьшение времени от начала QRS до вершины систолических и диастолических волн, за исключением волны i , у которой время от начала QRS равно нормальному. Выявленные закономерности характерны для всех трех видов кривых на всех четырех фазах дыхания.

Таким образом, прямой калиброванный метод регистрации БКГ представляет собой более ценную информацию о степени стеноза или недостаточности митрального клапана, чем более сложные, но некалиброванные методы.

Институт экспериментальной биологии и медицины Поступила в редакцию
Сибирского отделения АН СССР, 30/1 1962
Новосибирск

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Дамир, Показания и противопоказания к хирургическому лечению больных митральным стенозом. Канд. дисс. М., 1956.
2. J. Star, Am. J. Med. Sc., 1941, 202, 469.
3. J. Star, R. G. Mayock, Am. J. Med. Sc., 1948, 215, 631.
4. J. T. L. Mathers, J. L. Nickerson, Th. C. Fleming, and oth. Am. Heart J., 1950, 40, 3, 390—400.
5. P. R. Moret, Am. J. Cardiol, 1959, 3, 6, 794—798.
6. B. Van Lingen, M. Lister, J. Robinson, S. Afr. J. Lab. Clin. med., 1958, 4, 3, 206—219.
7. W. Dock, H. Mandelbaum, R. A. Mandelbaum, Ballistocardiography, N.-Y., 1953.
8. W. Dock, H. Mandelbaum, R. A. Mandelbaum, J. Am. Med. Ass., 1951, 1284, 146.
9. W. Dock, F. Taubman, J. Med. Sc., 1949, 7, 751.
10. G. Jzak, K. Gramm, Brit. Heart J., 1956, 18, 1, 44—48.
11. M. M. Nawnan, E. B. Boray, W. E. Adams, Am. J. Physiol., 1951, 165, 3, 497—504.
12. К. В. Зверева. В кн. Вopr. грудной и неотложной хирургии. Горький, 1958, 23—32.
13. В. Л. Карпман, Г. В. Садовская, Терапевт. архив, т. 29, вып. 9, 1957, 17—23.
14. Б. Д. Рудой, Казанск. мед. журн., № 1, 1959, 70—72.
15. К. П. Бутейко. В кн. Первая всец. конф. по баллистокардиографии. Тез. докл., М., 1959, 17—18.
16. К. П. Бутейко. В кн. Тез. докл. науч. конф. Ин-та эксперим. биол. и мед. СО АН СССР, посвященной вопросам патологии и регенерации органов кровообращения, Новосибирск, 1959, 22—24.

Г. А. ПЕШКОВА

ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В ДАУРИИ

Летом 1961 г. на юге Даурии, преимущественно в степной части (от Бырки на востоке до Акши на западе), проводились маршрутные геоботанические исследования. Район этот неоднократно посещался ботаниками, в том числе флористами, и в флористическом отношении изучен довольно хорошо. Во время наших работ обнаружены немногочисленные интересные растения, впервые отмеченные в Даурии.

Habenaria linearifolia Maxim. Найдена в ивняках по долине р. Курулга близ с. Курулга Акшинского района 8 августа. Этот вид считается японо-китайским и в пределах СССР отмечается для Зее-Бурейского и Уссурийского флористических районов Дальнего Востока.

Linum stelleroides Planch. Обнаружен на солонцеватых почвах в пикульниково-ковыльной степи близ оз. Ножий Агинского района 3 августа. По «Флоре СССР» этот японо-китайский вид указывается для Зее-Бурейского (редкие местонахождения) и Уссурийского районов Дальнего Востока.

Omphalotrix longipes Maxim. Собран на сыром лугу по долине р. Урулюнгуй близ с. Урулюнгуй Быркинского района 18 августа. Маньчжурский вид; у нас, как и два предыдущих вида, встречается на Дальнем Востоке в тех же районах.

Приведенные материалы вносят коррективы во «Флору СССР» относительно ареалов этих видов.

Восточно-Сибирский биологический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Иркутск

Поступила в редакцию
3/III 1962

Художественный редактор В. И. Желнин.
Технический редактор А. М. Вялых.
Корректоры А. А. Сямонова, Н. И. Соколова.

Подписано к печати 14 августа 1962 г. МН02291. Бумага 70×108/16 7,75 печ. л., 10,62 усл. печ. л. + 1 вкл., 9,5 уч.-изд. л. Тираж 2000.

Издательство Сибирского отделения Академии наук СССР, Новосибирск, Советская, 20. Зак. 290.
Типография № 1 Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20.
Цена 70 коп.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Известия Сибирского отделения Академии наук СССР» публикуются теоретические и методические работы по экономическим, техническим, химическим и биологическим наукам, в разделе «Хроника» систематически освещается жизнь научных учреждений Сибири и Дальнего Востока, имеется в журнале также раздел «Критика и библиография».

Представляемые в журнал статьи должны излагать новые, еще не опубликованные результаты научных исследований, в конце работы должны содержаться краткие выводы.

Редакция просит авторов при подготовке статей руководствоваться изложенными ниже правилами. Статьи, оформленные без соблюдения этих правил, редколлегией не рассматриваются.

1. На публикацию представляемых в редакцию материалов требуется письменное разрешение руководства организации, на средства которой проводились работы.

2. Размер статей, включая иллюстративный материал и библиографию, не должен превышать 1 авторский лист (24 стр.) для работ проблемного характера и половину авторского листа — для научных сообщений, посвященных частным вопросам. Для кратких сообщений максимальный объем установлен 5 стр. машинописи.

3. Статья должна быть напечатана на пишущей машинке, текст, так и подстрочные примечания, подписанные подписями, список литературы и т. д. обязательно печатаются через два интервала.

4. Рукописи и иллюстративный материал к ним представляются в двух экземплярах. Рукопись должна быть вычитана и подписана автором. Математические и структурные формулы должны быть тщательно вписаны в оба экземпляра рукописи и дополнительно в дубликаты на отдельном листе.

5. Цитируемая в статье литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования, который помещается в конце статьи; в тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1].

6. Литература должна быть оформлена в следующем порядке: а) литература в списке дается на тех языках, на которых она издана; б) библиографические данные приводятся по титульному листу издания, все элементы библиографического перечня отделяются друг от друга запятыми; в) цифры, обозначающие том, выпуск, издание, страницы, ставятся после сокращенного слова, например, т. III, вып. 8, изд. 2.

Схема перечня библиографических данных:

для книг: инициалы и фамилия автора, название книги, название издательства, место издания, год издания;

для журналов: инициалы и фамилия автора, название статьи, название журнала, том, выпуск (т. III, вып. 7), номер, год. В работах по химии в соответствии с порядком, принятым в специализированных химических журналах, допускаются ссылки на работы, опубликованные в журналах, без названия статей.

7. Формулы, латинские, греческие и т. п. выражения следует давать только в случаях необходимости, вписывая их на машинке или от руки (темными чернилами или тушью) четко и ровно, чтобы не было никаких сомнений при чтении каждого знака.

Во избежание недоразумений нужно делать ясное различие между одинаковыми по начертанию заглавными и строчными буквами в формулах, подчеркивая заглавные буквы двумя черточками снизу. Греческие буквы обводятся красным карандашом.

8. Тоновые иллюстрации (фото) должны быть выполнены ровно наложенной тушью на кальке, допускается также плотная белая бумага. На абсциссе и ординате графиков должны быть указаны откладываемые величины и единицы их измерения.

Не рекомендуется рисунки и чертежи загромождать надписями, лучше детали рисунка занумеровать и дать расшифровку номеров в подписной подписи.

Все иллюстрации к статье должны иметь сквозную нумерацию. Номера эти проставляются простым карандашом на каждом рисунке или чертеже, а также в рукописи на левом поле страницы, против соответствующего места в тексте (вклеивать иллюстрации в текст рукописи нельзя). Кроме того, на обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. В рукопись должна быть вложена опись иллюстраций (в 2 экземплярах) согласно их порядковой нумерации.

9. Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статей.

10. Корректурa дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректуре не допускаются. Иногородним авторам корректурa не высылается.

11. Датой поступления рукописи, посланной на доработку автору, считается дата ее возвращения в редакцию.

12. После опубликования статья автор получает 50 оттисков.
Статьи направляются по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 401.

ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный научный журнал

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

В журнале освещаются результаты теоретических работ и экспериментальных исследований по экономическим, техническим, химическим и биологическим наукам, проведенных в научных учреждениях, исследовательских институтах, высших учебных заведениях Сибири. В журнале печатаются также статьи методического характера, работы, посвященные важнейшим проблемам развития производительных сил восточных районов СССР.

В журнале регулярно дается разносторонняя информация о научной жизни и развитии науки в Сибири и на Дальнем Востоке, печатаются материалы по обмену опытом и координации научной работы, библиография и рецензии на книги, в которых рассматриваются вопросы, связанные с изучением Сибири.

Журнал рассчитан на научных работников, преподавателей вузов, инженеров и руководителей предприятий.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 8 р. 40 к.

на 6 месяцев — 4 р. 20 к.

на 3 месяца — 2 р. 10 к.

Цена отдельного номера 70 коп.

Подписка принимается всеми отделениями Союзпечати и агентствами связи, а также магазинами «Академкнига», с любого очередного номера. Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комн. 401).